



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Reabilitação de Fachadas e o seu Contributo Energético

Caso de estudo de um hotel em Lisboa

Mariana Couto Brito

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

ARQUITECTURA

Júri

Presidente:	Professora Teresa Valsassina Heitor
Orientador:	Professor Vasco Moreira Rato
Co-Orientador:	Professor Manuel Duarte Pinheiro
Vogal:	Professora Maria da Glória Gomes

Outubro 2010

AGRADECIMENTOS

Quero expressar publicamente o meu agradecimento:

Ao Professor Vasco Moreira Rato, pelo interesse e entusiasmo demonstrado desde o início, pela sua disponibilidade em ensinar e pelas sugestões feitas durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Manuel Duarte Pinheiro, igualmente pelo interesse demonstrado, pela motivação e energia contagiante e pelas suas tão úteis sugestões.

Ao Engenheiro Mário Barbeiro e ao grupo Amazónia Hotéis, pela cedência do material necessário para a realização deste estudo, bem como pela receptividade às recomendações decorrentes do mesmo e, em particular, pela preocupação da empresa com a preservação do Ambiente.

Quanto aos agradecimentos pessoais, tratarei de realizá-los pessoalmente, abrindo no entanto uma excepção: Cristina, obrigada por todo o apoio, paciência e companheirismo tanto ao longo da elaboração da dissertação como ao longo dos anos anteriores!

RESUMO

As fachadas são o elemento da envolvente que faz a interface das pessoas entre o ambiente exterior e o interior. Do conjunto das suas características mais importantes, existe uma, cuja relevância tem vindo a aumentar devido à conjuntura ambiental e económica actual: o desempenho energético.

Importa assim analisar as características de comportamento térmico dos elementos da fachada, com base na respectiva regulamentação em vigor (RCCTE- Decreto-Lei n.º80/2006), e analisar o contributo da sua eventual reabilitação para o seu desempenho energético, para a redução da factura energética, não ignorando a importância da sua qualidade arquitectónica.

O objectivo principal desta dissertação é efectuar a análise de diferentes soluções construtivas aplicáveis ao caso de estudo, o Amazónia Lisboa Hotel. Esta análise foca as questões do projecto de arquitectura, de forma a considerar a necessidade de compatibilização entre o desempenho energético dessas soluções e a sua qualidade formal, do ponto de vista arquitectónico, pesquisando os desafios de intervenção para um estabelecimento hoteleiro.

O propósito da análise elaborada é fazer a comparação entre as vantagens e desvantagens dos sistemas propostos, conferindo ao dono de obra do Amazónia Lisboa Hotel a possibilidade de optar pelo sistema que seja mais eficaz na resposta às suas necessidades e/ou prioridades.

Com base no objectivo principal do presente estudo, que é o de melhorar o desempenho térmico das fachadas através da sua reabilitação, o enfoque é sobre a redução do consumo energético dos edifícios, nomeadamente através do contributo térmico dos elementos das fachadas para a redução das necessidades energéticas para climatização.

Após a análise, verificou-se o benefício da reabilitação das fachadas para o Hotel, bem como as suas implicações em termos de viabilidade económica (indicativa) e de aspecto visual.

Palavras-Chave:

Fachadas – Reabilitação – Eficiência Energética – Isolamento Térmico

ABSTRACT

The façade serves as the interface between the interior and the exterior space. Among its main characteristics, there is one, whose importance is rising due to the environmental and economic situation: its energetic performance.

Thereby it is important to study the façade's thermal behavior (according to the current legislation) and the benefits of its possible refurbishment, like the energetic performance improvement, the reduction of the energetic cost, as well the exterior appearance upgrade.

The aim of the present dissertation is to study the different constructive solutions appropriate for the building under focus– Amazónia Lisboa Hotel. Therefore, it also investigates the challenges of the refurbishment process in the accommodation sector and approaches the architectural responsibility for the compability of the energetic performance and the exterior appearance.

The analysis intends to compare the different possible solutions, in order to enable the owner of the Hotel to make the decision according to his highest needs and priorities.

With the energetic efficiency improvement being the purpose of this study, the main subject of the dissertation is the reduction of the energy consumption in buildings, particularly as result of the façade refurbishment and its constructive elements thermal characteristics.

Finally, the analysis results verified the benefits resulting from the façades refurbishment, as well the economic implications and the exterior appearance of each architectural solution.

Keywords:

Façade – Refurbishment – Energy Efficiency – Thermal Insulation

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE GERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE QUADROS.....	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objectivos.....	5
1.3 Metodologia	7
1.4 Estrutura da Dissertação	10
2 DESAFIOS ENERGÉTICOS E A ARQUITECTURA.....	13
2.1 Desafios Energéticos e Climáticos.....	13
2.2 A Arquitectura e a sua relação com o Clima	17
2.3 Conforto	21
2.4 Regulamentação.....	25
3 FACHADAS E COMPONENTES.....	29
3.1 Evolução histórica das fachadas.....	29
3.2 Funções e Componentes das Fachadas.....	35
3.3 Elementos verticais opacos – Paredes exteriores.....	39
3.3.1 Inércia térmica	40
3.3.2 Resistência Térmica.....	41
3.3.3 Pontes térmicas.....	43
3.3.4 Humidade	45
3.4 Elementos verticais não opacos – Vãos envidraçados.....	47
3.4.1 Coeficiente global de transmissão térmica	48
3.4.2 Captação da radiação solar	49

3.4.3	Infiltrações de ar não controladas.....	51
3.5	Sistemas Passivos	53
3.5.1	Sistemas de Aquecimento Passivo	55
3.5.2	Sistemas de Arrefecimento Passivo	60
3.5.3	Sistemas de Isolamento Térmico	65
3.6	Sistemas Activos.....	73
3.7	Em síntese	75
4	CASO DE ESTUDO E A FACHADA ACTUAL.....	77
4.1	O Hotel	77
4.1.1	Tipo de Estabelecimento.....	77
4.1.2	Localização e Clima.....	80
4.1.3	Forma e Orientação Solar.....	82
4.2	Caracterização da solução existente.....	85
4.2.1	Elementos verticais opacos	85
4.2.2	Elementos verticais não opacos.....	88
4.2.3	Aspecto visual.....	90
4.3	Síntese das características das fachadas do Hotel	91
5	REABILITAÇÃO DAS FACHADAS DO AMAZÓNIA LISBOA HOTEL.....	93
5.1	Objectivos e restrições	94
5.2	Medidas propostas.....	95
5.2.1	Fracção F1.....	96
5.2.2	Fracção F2.....	97
5.2.3	Fracção F3.....	101
5.2.4	Sistema de Vãos Envidraçados	103
5.3	Contributo energético	105
5.4	Apresentação de Resultados.....	109
5.4.1	Soluções Existentes F1, F2, F3	110
5.4.2	Resultados para F1	112

5.4.3	Resultados para F2	113
5.4.4	Resultados para F3	115
6	DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	117
6.1	Energia, Viabilidade e Aspecto Visual	117
6.2	Outros critérios	122
7	CONCLUSÕES.....	123
	Referências bibliográficas	129
	ANEXOS	135
I.	Cartas Solares.....	135
II.	Custo médio da energia final	136
III.	Cálculos do Contributo Energético.....	137
i)	Cálculos de Coeficientes de Transmissão Térmica U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).....	137
ii)	Cálculos F1.....	138
iii)	Cálculos F2.....	139
iv)	Cálculos F3.....	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Consumo de Energia Primária em Portugal em 2007.	14
Figura 2.2- Consumo de Energia Final por sector em Portugal em 2007.	14
Figura 2.3- Desagregação do consumo de energia primária pelas diferentes formas de utilização de energia.	15
Figura 2.4- Desagregação do consumo de energia primária pelas principais tipologias de utilização.	15
Figura 3.1- Seagram Building, New York. Mies van der Rohe, 1969.	30
Figura 3.2- Evolução das paredes exteriores em Portugal.	32
Figura 3.3- Biblioteca do campus de Jussieu, Paris. Herzog & de Meuron, 1993.	33
Figura 3.4- Mathew Nowicki State Fair Arena. Berger, 1996.	33
Figura 3.5- Guggenheim Museum, Bilbao. Frank Gehry, 1997.	33
Figura 3.6- Kunsthaus, Graz. Peter Cook & Colin Fournier, 2003.	33
Figura 3.7- Integração de células fotovoltaicas em cobertura transparente.	34
Figura 3.8- Edifício SOLAR XXI, Lisboa. 2006.	34
Figura 3.9- Esquema do aproveitamento da integração dos painéis fotovoltaicos para climatização passiva.	34
Figura 3.10- Parede dupla leve.	39
Figura 3.11- Parede tripla leve composta painel <i>sandwich</i> e painel ventilado.	39
Figura 3.12- Parede simples pesada em tijolo furado rebocado nas duas faces.	39
Figura 3.13- Parede dupla pesada em pedra aparente e tijolo furado com isolamento na caixa-de-ar.	39
Figura 3.14- Inércia Térmica.	41
Figura 3.15- A importância do isolamento exterior para a inércia térmica.	41
Figura 3.16- Pilar intermédio.	44
Figura 3.17- Talão de viga.	44
Figura 3.18- Caixa de estore.	44
Figura 3.19- PTL, comparação do sistema de isolamento no interior da caixa-de-ar com o sistema de isolamento pelo exterior.	44
Figura 3.20- Variação do ângulo entre o Sol e a Terra.	50
Figura 3.21- Percursos do Sol no hemisfério norte.	50
Figura 3.22- Representação esquemática do sistema de ganhos directos.	55
Figura 3.23- Representação esquemática do sombreamento.	55

Figura 3.24- Representação esquemática do sistema de ganhos indirectos.	57
Figura 3.25- Paredes de armazenamento térmico.	57
Figura 3.26- Representação esquemática da parede de Trombe (ventilada).	58
Figura 3.27- Representação esquemática do sistema de ganhos isolados.	59
Figura 3.28- Representação esquemática da ventilação natural.	61
Figura 3.29- Exemplo de ventilação natural em quarto de hotel.	61
Figura 3.30- Diferença de absorção da radiação solar em estore de lâminas exterior e interior, respectivamente.	62
Figura 3.31- Exemplos de sistemas de protecção solar exteriores de janelas.	63
Figura 3.32- Influência do ângulo da altura solar nos envidraçados.	64
Figura 3.33- Variação da altura do Sol no Verão.	64
Figura 3.34- Variação térmica respectivamente no caso de isolamento exterior e no de isolamento em caixa-de-ar.	67
Figura 3.35- PTL respectivamente no caso de isolamento exterior e no de isolamento em caixa-de-ar.	67
Figura 3.36- Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento delgado (ETICS).	69
Figura 3.37- Isolamento pelo exterior com revestimento independente descontínuo ventilado.	69
Figura 3.38 - Sistema de isolamento térmico por elementos descontínuos prefabricados.	69
Figura 3.39 Contra-fachada com isolante na caixa-de-ar.	70
Figura 3.40 – Secção horizontal do sistema de isolamento na caixa-de-ar.	71
Figura 3.41- Exemplo de sistema de isolamento na caixa-de-ar.	71
Figura 3.42- Esquema do funcionamento de um colector solar térmico.	73
Figura 3.43- Exemplo de integração de colector solar térmico numa fachada.	73
Figura 3.44- Integração de painéis fotovoltaicos em cobertura plana.	74
Figura 3.45- Integração de painéis fotovoltaicos em fachada.	74
Figura 3.46- Células fotovoltaicas em cobertura de vidro.	74
Figura 4.1- Precipitação média anual (mm)	80
Figura 4.2- Temperatura média anual (°C)	80
Figura 4.3 - Duas áreas equivalentes com factores de forma distintos.	82
Figura 4.4- Desenvolvimento linear da superfície envolvente exterior.	82
Figura 4.5 - Implantação do edifício.	83
Figura 4.6 - Vista aérea da fachada posterior.	83
Figura 4.7- Fracções F1 e F2 na fachada principal.	86

Figura 4.8- Fracções F3 e P4 na fachada posterior.	86
Figura 4.9- Pormenores construtivos da zona opaca.	86
Figura 4.10- Exemplo das patologias encontradas nas fachadas.	87
Figura 4.11 – Vãos envidraçados da fachada principal.	88
Figura 4.12 – Vão envidraçado da fachada posterior.	88
Figura 4.13- Estudo da geometria solar para a fachada principal orientada a NO.	89
Figura 4.14- Estudo da geometria solar para a fachada posterior orientada a SE.	89
Figura 4.15- Aspecto visual da fachada principal.	90
Figura 4.16- Aspecto visual da fachada posterior.	90
Figura 5.1- Sistema de isolamento interior proposto para F1.	96
Figura 5.2- Aspecto visual de uma fachada com ETICS, em Lisboa.	97
Figura 5.3- Aspecto visual de fachada ventilada cerâmica de um hotel na Madeira.	97
Figura 5.4- Aspecto visual fachada ventilada cerâmica, em Espanha.	97
Figura 5.5- Pormenor da aplicação do isolante térmico em esquinas e cantos.	98
Figura 5.6- Representação esquemática das vantagens do sistema de fachada ventilada.	100
Figura 5.7- Soluções de aspecto visual do revestimento cerâmico.	100
Figura 5.8- Arranque do isolante térmico a partir do pavimento de uma varanda.	101
Figura 5.9 - Vãos envidraçados	103
Figura 5.10- Proposta de alteração dos vãos envidraçados - V2.(2).	103
Figura 5.11- Ângulo horizontal do Sol com a fachada principal.	104
Figura 6.1- Exemplo de pintura com cores diferentes na Fachada Posterior.	118
Figura 6.2- Exemplo da diversidade de soluções relativamente ao aspecto visual da fachada ventilada cerâmica.	119
Figura 6.3 - Vãos envidraçados da solução existente.	120
Figura 6.4- Proposta de alteração dos vãos envidraçados (2).	120
Figura 6.5- Exemplos de possibilidades decorativas para as reentrâncias da fachada principal.	120
Figura 6.6- Exemplos de soluções possíveis para as reentrâncias da fachada principal.	120

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 3.1- Exemplo de coeficientes de transmissão térmica de dois tipos de vão envidraçado.....	48
QUADRO 3.2- Exemplos de sistemas passivos.....	54
QUADRO 3.3- Vantagens e inconvenientes do isolamento térmico exterior em relação ao isolamento interior.....	66
QUADRO 4.1- Variação da taxa de ocupação mensal de 2005 a 2009.	78
QUADRO 4.2- Variação da taxa média de ocupação mensal em 2005-2009 e 2007-2009.....	79
QUADRO 4.3- Dados climáticos de referência para o caso de estudo.....	81
QUADRO 5.1- Síntese das medidas passivas propostas.....	95
QUADRO 5.2- Coeficientes de transmissão térmica (U) dos elementos das fachadas e os valores máximos respectivos fixados no RCCTE para a zona climática I1.	110
QUADRO 5.3- Perdas energéticas e custo de energia final de F1, F2 e F3 existentes.	111
QUADRO 5.4- Contributo energético das soluções propostas para F1.....	112
QUADRO 5.5- Período de Retorno Simples da solução proposta para F1.	112
QUADRO 5.6- Contributo energético das soluções propostas para F2.....	113
QUADRO 5.7- Período de Retorno Simples das soluções para F2 e F2.(2).	114
QUADRO 5.8- Contributo energético das soluções propostas para F3.....	115
QUADRO 5.9- Período de Retorno Simples das soluções para F3.	115
QUADRO 6.1- Matriz de satisfação dos principais critérios de escolha.....	121

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

“As an architect, you design for the present

with an awareness of the past

for a future which is essentially unknown.

The green agenda is probably the most important agenda and issue of the day.”

(Sir Norman Foster, TED Talks, 2007¹)

A sustentabilidade é hoje o maior desafio de qualquer indústria ou sector económico em qualquer parte do mundo. O desenvolvimento económico e social, segundo os padrões actuais de consumo e de produção, não é sustentável: globalmente, estão a ser extraídos mais recursos para a produção de bens e serviços do que o nosso planeta pode repor, enquanto uma grande parte da população mundial luta por satisfazer as suas necessidades mais básicas (UNEP, 2009).

O consumo excessivo de energias fósseis tem originado graves alterações climáticas, cuja consequência constitui uma das ameaças mais sérias para a sociedade, para a economia e para o ambiente e, por tal, tem sido alvo de preocupação a nível internacional ao longo das últimas décadas (UNWTO, 2009). Reflexos desta preocupação são as várias instituições e programas de acção para combater as alterações climáticas, que foram criados desde os anos 70, entre várias organizações, o *United Nations Environment Programme* (UNEP), criado em 1972 e que, juntamente com a *World Meteorological Organization* (WMO) formaram o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) em 1989, responsável pela produção, sistematização, e avaliação de dados científicos sobre as alterações climáticas e recomendações para a redução das mesmas.

O aumento da emissão de gases com efeito de estufa (GEE) devido à queima de combustíveis fósseis, como o petróleo, contribui para o aquecimento global e é apontado como uma das principais causas das alterações climáticas. É inevitável alertar para o facto de este aumento ser causado por actividades executadas pelo ser humano (Simpson, Gössling, Scott, Hall, &

¹ Disponível em <http://www.tedxgreen.com/2010/03/12/norman-foster-building-on-the-green-agenda/>. [29.10.2009]

Gladin, 2008) e que, como tal, tem a obrigação de encontrar soluções para as consequências das suas acções.

O incremento da eficiência energética e a redução de consumos excessivos são, então, fulcrais na limitação do crescimento da demanda energética e na mitigação dos impactes ambientais associados ao consumo energético. A importância da eficiência energética é já reconhecida globalmente, facto que é reflectido pelos múltiplos acordos de políticas de eficiência energética realizados a nível internacional (EEA, 2007), como por exemplo o *Protocolo de Quioto* (PQ)², assinado em 1997, que inclui as metas de redução de GEE a alcançar pelos subscritores desse protocolo.

Os edifícios, cujo consumo representa 40% do consumo global de energia da União Europeia (DGEG, 2002), são considerados como uma das principais fontes de emissão de GEE. A emissão é causada comumente pelo uso da electricidade para a climatização, iluminação assim como para a alimentação de equipamentos electrónicos (UNEP, 2009).

Entre os vários edifícios, os hotéis têm um papel importante no consumo de energia. Segundo a WTO (*World Tourism Organisation*), em 2005 cerca de 810 milhões de pessoas visitaram países estrangeiros, estimando que esse número duplique antes de 2020. Está previsto que Portugal será o 10º destino turístico a nível mundial dentro de 10 anos. Tratando-se de um sector em rápido crescimento, por consequência o seu consumo energético aumenta, bem como a sua responsabilidade pelas alterações climáticas.

Desde 2003, quando se realizou a Primeira Conferência Internacional sobre as Alterações Climáticas e o Turismo, na Tunísia, os *stakeholders* deste sector económico têm vindo a tomar medidas para reduzir o seu impacte ambiental

Ao nível nacional, o PNAEE (Plano de Acção para a Eficiência Energética 2008-2015, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008) inclui o programa para a eficiência energética dos edifícios, tanto residenciais como de serviços, que agrupa medidas de melhoria das características de comportamento térmico da envolvente, nomeadamente ao nível de isolamentos, melhoria de vãos envidraçados e sistemas energéticos.

² A meta fixada para Portugal para o primeiro período do PQ (2008-2012) foi a limitação do aumento das suas emissões de GEE em 27% sobre o valor verificado em 1990. (Diário da República, 1.ª série - N.º162, 2006)

A eficiência energética num edifício pode ser conseguida através da adopção de um conjunto de medidas que abrange todos os tipos de consumo, desde a preparação de água quente sanitária, passando pela iluminação e pelos equipamentos electrodomésticos, até à melhoria do desempenho térmico da envolvente (DGEG, 2002), sendo que um dos contributos passa pelo assegurar de uma envolvente com um bom desempenho energético.

“Medidas de Remodelação

*A eficiência energética na vertente de renovação do parque residencial deverá incidir numa análise adequada das **necessidades de climatização dos edifícios, um parâmetro cada vez mais relevante e associado ao conforto e bem-estar** e que pode ser abordada de duas formas distintas, por um lado através da componente de manutenção das temperaturas de conforto, por outro, através da geração de calor e/ou frio de um modo eficiente.*

*Na vertente da manutenção das condições de conforto de temperatura estão contempladas neste plano duas intervenções directamente relacionadas com a **envolvente dos edifícios**:*

- **Janela Eficiente**, que visa o tratamento de superfícies envidraçadas, quer na utilização de vidro duplo, quer na utilização de estruturas de suporte com corte térmico, quer na utilização de vidros eficientes (de baixa emissividade);*
- **Isolamento Térmico**, que visa a aplicação de isolamentos térmicos em coberturas, pavimentos e principalmente paredes.*

Na vertente de geração de calor e/ou frio de modo eficiente estão contempladas as seguintes intervenções:

- **Calor Verde**, através do qual será desenvolvido um programa específico de promoção de recuperadores de calor.*
- Complementarmente serão criados mecanismos incentivadores à utilização de equipamentos de climatização “bombas de calor” eficientes, com COP -Coefficient of Performance igual ou superior a 4.”*

PNAEE 2008-2015 (Diário da República, 1.ª série - N.º 97, 2008)

Em Portugal, as construções anteriores à entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90 (posteriormente revogado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006), são insatisfatórias do ponto de vista do seu contributo para o grau de conforto no ambiente interior, requerendo assim um excessivo consumo energético para climatização. A reabilitação do edificado para que este se enquadre nos requisitos impostos no RCCTE, por si só, permite uma redução significativa do seu consumo energético.

O envelope (fachadas e cobertura) desempenha um papel fundamental na eficiência energética dos edifícios. A aplicação de isolamento térmico, apenas, pode conduzir a economias energéticas até 30%, evitando custos desnecessários para o aquecimento e arrefecimento dos espaços interiores (Lisboa E-Nova, 2008).

A fachada, ao ter um importante impacto no desempenho térmico, bem como no aspecto visual de interface com a cidade e seus utilizadores, posiciona-se como uma das áreas a considerar desde logo na reabilitação dos edifícios, sendo relevante investigar as possibilidades de intervenção de forma aplicada, isto é, num caso concreto.

O Amazónia Lisboa Hotel é um estabelecimento de três estrelas, inaugurado em 1990, que se situa em Lisboa, na Travessa da Fábrica dos Pentes nº 12-20. Com vinte anos e sem qualquer reabilitação realizada durante esse período, o Hotel encontra-se numa fase em que está a considerar a possibilidade de efectuar a reabilitação das fachadas. Por esta razão e pelo facto de existir facilidade de acesso aos dados, bem como as recomendações e orientações decorrentes desta investigação são bem-vindas por parte da administração do Hotel, este é um caso de estudo adequado para esta dissertação.

1.2 Objectivos

A fachada é o elemento da envolvente com maior superfície e, para além disso, é o que tem mais contacto com as pessoas, tanto as que se encontram no exterior como as que se encontram no interior do edifício, pois faz a interface entre o ambiente exterior e o interior. Importa assim analisar as características de comportamento térmico da fachada e analisar o contributo da sua reabilitação para o seu desempenho energético, para a redução da factura energética assim como para a sua alteração de aspecto visual.

Assim, o presente estudo incide sobre a importância do contributo do desempenho energético das fachadas para a redução do consumo energético dos edifícios.

O objectivo principal desta dissertação é realizar a análise de diferentes soluções construtivas aplicáveis ao caso de estudo, segundo os requisitos de um “hotel de cidade”³. Esta análise incide nas questões do projecto de arquitectura, de forma a considerar a necessidade de compatibilização entre o desempenho energético dessas soluções e a sua qualidade formal, do ponto de vista arquitectónico.

O propósito da análise elaborada é fazer a comparação entre as vantagens e desvantagens que uns sistemas têm em relação aos outros, permitindo ao dono de obra do Amália Hotel Lisboa a possibilidade de optar pelo sistema que é mais eficaz na resposta às suas necessidades e/ou prioridades.

Com base no objectivo principal do presente estudo, que é o de melhorar o desempenho térmico das fachadas através da sua reabilitação, o enfoque é a redução do consumo energético dos edifícios, nomeadamente através do contributo térmico dos elementos das fachadas para a redução das necessidades energéticas para climatização.

Os objectivos específicos para a sua concretização abrangem:

1. Pesquisar os desafios da reabilitação no sector hoteleiro e suas especificidades face ao desempenho energético, quer obrigatório (RCCTE), quer desejável (negócio do hotel);
2. Pesquisar as componentes da fachada e seu papel na dimensão energética;
3. Pesquisar que possibilidades de solução para a reabilitação da fachada se podem efectuar;
4. Analisar as características do caso de estudo, sobretudo da fachada existente;

³ Hotel de cidade é um hotel direccionado para o mercado de *citybreaks*.

5. Identificar e desenvolver as soluções para a possível reabilitação da fachada e respectivo desempenho;
6. Avaliar os seus resultados e discutir;
7. Concluir quanto aos desafios, soluções e desenvolvimentos futuros a realizar.

1.3 Metodologia

Inicialmente, é feita a contextualização do tema, abordando a relação do turismo com as alterações climáticas, transmitindo o papel relevante que esta indústria desempenha na sociedade, na economia global e, em particular, na contribuição para a sustentabilidade ambiental.

É evidenciada a relevância da eficiência energética dos edifícios e do cumprimento dos requisitos impostos através de regulamentação, numa época em que nos deparamos com a ameaça económica, social e ambiental das alterações climáticas, agravadas por actividades exercidas pelo ser humano. Por outro lado, é exposta a importância da arquitectura para a redução das necessidades energéticas dos edifícios. A exposição incide sobre as estratégias bioclimáticas, fazendo parte da base de uma arquitectura responsável.

Previamente à pesquisa de soluções para a melhoria do desempenho térmico das fachadas, é realizado um estudo sobre as fachadas, a sua evolução histórica, os seus elementos construtivos e quais os aspectos, com aqueles relacionados, que influenciam o conforto térmico no interior do edifício. É feito ainda um esclarecimento sobre o regulamento aplicável no âmbito deste trabalho.

Posteriormente, são descritas as medidas passivas que contribuem para a boa relação da solução arquitectónica com as condições climáticas do local, materializadas em sistemas possíveis de aplicar. Também é feita uma abordagem sumária dos sistemas solares activos, apesar de não serem considerados no caso de estudo.

O conhecimento das características da solução existente é indispensável para realizar uma reabilitação, pois é sobre esta solução que se vai intervir. Por esta razão, a solução é caracterizada segundo os aspectos mais importantes que interferem com o seu desempenho energético, de forma a saber o que é necessário corrigir e melhorar, que medidas devem ser tomadas e como devem ser implementadas.

A caracterização da solução existente baseia-se nos seguintes aspectos:

- Tipo de estabelecimento
- Localização e Tipo de Clima
- Forma e Orientação Solar
- Solução construtiva das Zonas Opacas
- Sistema de Vãos Envidraçados
- Estado de conservação
- Aspecto visual

A abordagem da investigação de soluções construtivas possíveis e adequadas para a reabilitação das fachadas encontra-se estruturada em três partes: a primeira é a caracterização da solução existente relativamente aos aspectos relevantes para o seu desempenho térmico; a segunda passa pela definição dos objectivos e das restrições; a terceira é a descrição dos tipos de solução mais adequados, isto é, aqueles que respondem aos principais objectivos da intervenção – melhoria do desempenho térmico e do aspecto visual - e que sejam possíveis de executar.

Para esses tipos de solução são escolhidas algumas variantes, isto é, no caso do sistema de isolamento pelo exterior, é escolhida a variante em que o revestimento é reboco armado e a variante em que o revestimento é independente ventilado. Dentre estas opções são analisadas as diferenças entre a aplicação de um material isolante com uma determinada espessura e outro com espessura maior.

O contributo energético dessas variantes é calculado através do disposto no regulamento aplicável em vigor. Concretamente, o que é calculado é a perda de energia que ocorre por condução através dos elementos das fachadas.

Procede-se, então, ao cálculo da redução das necessidades energéticas (poupança energética) resultante da aplicação das diferentes soluções e é simulada igualmente a poupança em termos económicos. A simulação é feita através do cálculo simplificado da estimativa do custo de energia final para compensar as perdas energéticas por condução. Este processo é efectuado para cada solução possível com espessuras diferentes de isolante térmico, de forma a perceber as respectivas implicações de cada solução.

Adicionalmente é verificada a relação custo/benefício da aplicação de diferentes isolantes com diferentes espessuras, de forma a ter uma noção da perspectiva da viabilidade económica.

Após a recolha destas informações, são discutidas as demais vantagens e desvantagens de cada uma das soluções do ponto de vista energético, económico e da qualidade formal arquitectónica.

Finalmente, são expostas as considerações gerais sobre a importância da energia, do papel dos edifícios, bem como sobre os desafios que surgem da procura de soluções para a melhoria do desempenho energético num hotel.

Por último, são nomeados alguns aspectos a desenvolver futuramente, no que diz respeito à reabilitação de fachadas com vista na melhoria do desempenho energético.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação foi elaborada de acordo com a seguinte estruturação:

1. Introdução

O primeiro capítulo da dissertação destina-se ao enquadramento do tema, aos motivos que levaram à sua escolha e à importância deste no seu contexto actual. Este capítulo traça, ainda, os objectivos a alcançar, delimita o universo temporal e espacial do âmbito do estudo e descreve o modo como a dissertação será elaborada.

2. Desafios Energéticos e a Arquitectura

Este capítulo aborda os assuntos directamente relacionados com o tema da dissertação, como a importância das alterações climáticas associadas ao consumo de energias fósseis e os desafios energéticos impostos ao Turismo e aos edifícios em geral, no contexto do desenvolvimento sustentável e da regulamentação existente. Para além do referido, é feita uma breve descrição das considerações, do ponto de vista da arquitectura bioclimática, a ter em conta numa reabilitação de fachadas e, inclusivamente, do conforto associado às soluções arquitectónicas.

3. Fachadas e Componentes

No terceiro capítulo, faz-se a descrição das fachadas e dos seus componentes, bem como dos aspectos que influenciam o conforto térmico dos ocupantes e o consequente consumo energético. São também referidos alguns dos sistemas passivos e activos, relacionados com o contexto do trabalho, que contribuem para a redução do consumo energético.

4. Caso de Estudo e a Fachada Actual

O edifício existente do caso de estudo é descrito segundo o tipo de estabelecimento, localização, tipo de clima, forma e orientação solar. As fachadas do edifício são caracterizadas do ponto de vista energético, de estado de conservação e de aspecto visual dos seus elementos opacos e não opacos.

5. Reabilitação das Fachadas do Amazónia Lisboa Hotel

Após traçar os objectivos e as restrições de intervenção no edifício existente, são propostas soluções para a reabilitação das suas fachadas. Estas soluções são analisadas segundo o seu contributo energético e a sua viabilidade económica indicativa. Os resultados obtidos são apresentados para cada fracção diferente das fachadas existentes.

6. Discussão de Resultados

Procede-se, então, à avaliação ponderada dos resultados do ponto de vista energético, económico e de aspecto visual, considerando, ainda, outros critérios importantes para a escolha de uma solução.

7. Conclusões

Conclui-se este trabalho com as principais considerações sobre o tema da eficiência energética em edifícios, a procura de soluções para a reabilitação de fachadas, em particular no caso de estudo, sobre as implicações energéticas, económicas e arquitectónicas.

2 DESAFIOS ENERGÉTICOS E A ARQUITECTURA

2.1 Desafios Energéticos e Climáticos

O Turismo é um dos maiores sectores económicos no mundo, tendo grande influência em muitas economias nacionais e locais por todo o mundo (UNWTO, 2009). A actividade turística exerce, no entanto, grande pressão sobre o ambiente, por ser uma das actividades mais consumidoras de energia e, por consequência, uma das maiores emissoras de GEE. Como tal, é vista como uma das maiores responsáveis pelas alterações climáticas, vendo-se forçada a adoptar medidas para inverter esta situação. Além disso, o turismo é um sector económico fortemente dependente das condições climáticas (Simpson, Gössling, Scott, Hall, & Gladin, 2008) das respectivas regiões, tendo, por essa razão, motivação redobrada para reduzir as suas emissões de GEE.

Em Abril de 2003, realizou-se em Djerba, na Tunísia, a *First International Conference on Climate Change and Tourism* (Primeira Conferência Internacional sobre Alterações Climáticas e Turismo), organizada pela *World Tourism Organisation* (WTO), em resposta a um convite do Governo da Tunísia. Os participantes da conferência acordaram que era necessário “encorajar a indústria do Turismo, incluindo companhias de transporte, estabelecimentos hoteleiros, operadores e agentes de viagens e guias turísticos a ajustar as suas actividades, usando uma tecnologia e logística mais eficiente energeticamente, de forma a reduzir o máximo possível a sua contribuição para as alterações climáticas” (UNWTO, 2003).

Em Outubro de 2007, foi declarado na Segunda Conferência Internacional sobre Alterações Climáticas e Turismo em Davos, na Suíça, que “o sector turístico é muito sensível aos impactes originados pelas alterações climáticas e pelo aquecimento global e contribui com cerca de 5% das emissões globais de CO₂.” Foi acordado ainda nesta conferência que o Turismo, tanto de negócios como de lazer, é reconhecido como “um componente vital da economia global (...) e como um elemento integrante e positivo na nossa sociedade” (UNWTO, 2007).

Dada a importância desta indústria, os participantes da conferência concordaram em “adoptar políticas que encorajem o turismo sustentável ao nível ambiental, social, económico e que sejam capazes de responder às alterações climáticas” (UNWTO, 2007). Segundo esta declaração, os governos reunidos na conferência terão de tomar algumas atitudes, entre as quais “reduzir as emissões de gases com efeito de estufa derivados especialmente do

transporte e das acomodações; aplicar tecnologia nova ou já existente que melhore a eficiência energética”(UNWTO, 2007).

Portugal é um país com escassos recursos energéticos próprios, nomeadamente aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como o petróleo, o carvão e o gás). Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), em 2008 a dependência de Portugal em termos de importação de energia foi de 82%. Sendo um país dependente da importação de energia, é vulnerável às situações de crise que ocorrem no mercado petrolífero (DGEG, 2009) e, assim, é do maior interesse para o nosso país a adopção de medidas para a eficiência energética.

A energia primária mais consumida em Portugal (Figura 2.1) é o petróleo. Os transportes são os maiores consumidores de energia final, contudo os edifícios são responsáveis por uma parte muito significativa dessa energia consumida, bem como a indústria. Na Figura 2.2 encontra-se exposto o consumo de energia final por sector de actividade económica, em que os edifícios representam quase 30% do consumo de energia final e os transportes 37%.

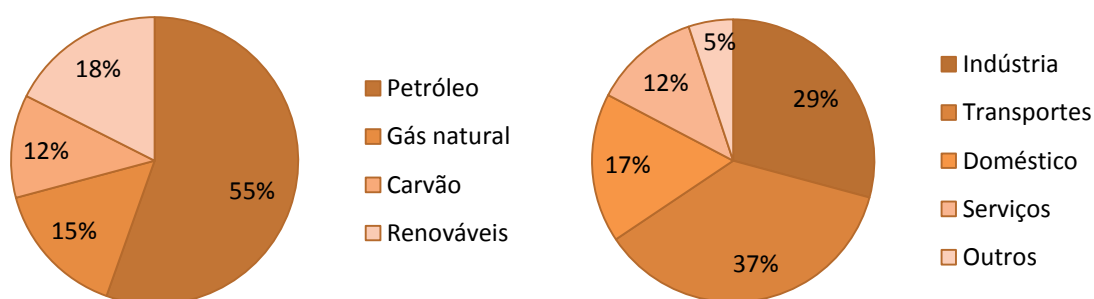


Figura 2.1- Consumo de Energia Primária em Portugal em 2007.

Figura 2.2- Consumo de Energia Final por sector em Portugal em 2007.

(DGEG, 2009)

É estimado que 50% do consumo de energia nos edifícios residenciais resulta da utilização da cozinha e do aquecimento de águas sanitárias (AQS), enquanto 25% provêm da iluminação e dos equipamentos e os restantes 25% da climatização (DGEG, 2002).

Quanto aos edifícios de serviços, não é possível uma distribuição exacta do consumo, pois apresentam uma grande heterogeneidade quanto à utilização final de energia. Os

“restaurantes, piscinas cobertas, grandes superfícies comerciais, hotéis e hospitais” encontram-se entre os maiores consumidores de energia eléctrica (Freitas V. , 2007). Mas em média pode dizer-se que cerca de 46% do consumo de energia final nos hotéis é para a climatização (31% para aquecimento e 15% para arrefecimento), 12% para iluminação, 17% para AQS e o restante para equipamentos de escritório e cozinha (Leonardo ENERGY, 2008).

Para ter uma noção aproximada do contexto energético em que o caso de estudo se insere, são analisados dados do concelho de Lisboa:

Existem várias formas de utilização de energia (energia final), sendo que a produção de energia eléctrica representa 41% da energia primária utilizada no concelho de Lisboa, enquanto que a segunda forma de energia final mais usada (o gasóleo rodoviário) representa 23% (Figura 2.3). Em termos de utilização, são os edifícios que consomem mais energia primária (Figura 2.4), sendo responsáveis por 85% de consumo de energia eléctrica do concelho (Lisboa E-Nova, 2005).

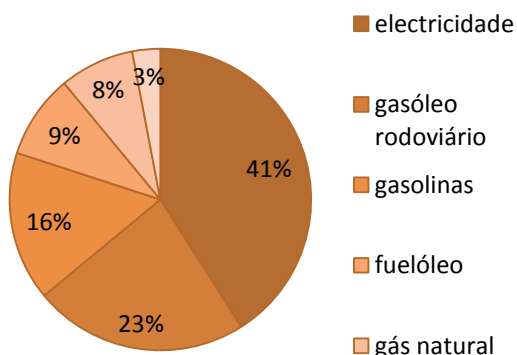


Figura 2.3- Desagregação do consumo de energia primária pelas diferentes formas de utilização de energia.

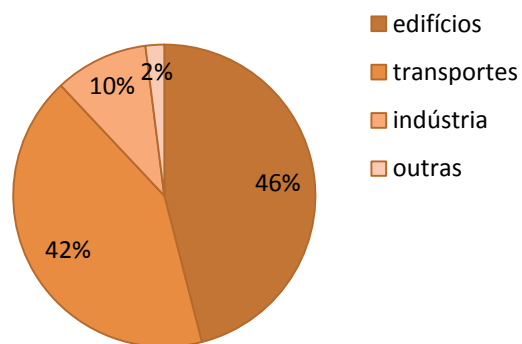


Figura 2.4- Desagregação do consumo de energia primária pelas principais tipologias de utilização.

Fonte:(Lisboa E-Nova, 2005).

NOTA: Estes resultados não podem ser directamente comparados com as estatísticas mais habituais a este nível já que, de uma forma geral, estas são efectuadas em unidades de energia final (segundo a matriz energética de Lisboa, elaborada no âmbito da definição da Estratégia Ambiental de Lisboa).

O impacto negativo que o consumo energético dos edifícios tem no ambiente é reconhecido globalmente. Foram criadas organizações (internacionais e nacionais) e programas para a eficiência energética dos edifícios, por todo o mundo. Em Portugal, foi adoptado o *Programa E4*, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001, que pretende promover a eficiência energética e a valorização das energias endógenas como um meio para reduzir as emissões de GEE, cujo limite de emissões foi acordado no âmbito do *Protocolo de Quioto*, em 1997.

Dada a importância da eficiência energética dos edifícios, o Ministério da Economia toma a iniciativa de lançar o *Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios* (P3E), que aprofunda as medidas preconizadas no *Programa E4*, visando o aumento da eficiência energética nos edifícios em Portugal. É proposta a “duplicação, na generalidade, das espessuras de isolamento térmico” da envolvente (DGEG, 2002), a adopção de vidros duplos e é indicado ainda que se deve evitar envolventes demasiado recortadas, para obter um melhor factor de forma. A adopção destas medidas previa uma redução do consumo energético para climatização de cerca de 40% (DGEG, 2002).

2.2 A Arquitectura e a sua relação com o Clima

“(...) relación entre el clima, la arquitectura y los seres vivos (...)”

(González, 2004)

A Arquitectura Bioclimática ou Solar Passiva, como também é frequentemente designada, tem como conceito base a relação do edificado com as condições climáticas e com os seres vivos que o habitam, neste caso os humanos. Daí a designação “bio” (de vida) e “climática” (de clima).

O papel da arquitectura bioclimática, e um dos deveres da arquitectura actualmente, é o de encontrar as soluções construtivas que façam a interface mais adequada entre as condições exteriores e as interiores, em que as exteriores são compostas por factores ambientais (variáveis climáticas) e as interiores por factores pessoais (tipo de utilização):

Factores ambientais

temperatura do ar;
temperatura radiante média;
velocidade do ar;
humidade relativa do ar.

Factores pessoais

actividade e metabolismo;
vestuário.

(Piedade, Rodrigues, & Roriz, 2000)

A finalidade do conceito bioclimático é conferir passivamente condições de conforto aos utilizadores do edificado, de forma a reduzir as necessidades energéticas para climatização. Assim, é possível minimizar o consumo energético, provocando um menor impacte ambiental.

As principais vantagens em ter uma baixa necessidade energética são a redução do consumo de energias fósseis, as consequentes reduções da factura energética e das emissões de GEE, contribuindo para uma poupança económica e para os planos e programas de resposta às alterações climáticas.

Para encontrar soluções arquitectónicas para construção/reabilitação (materiais e sistemas), que apresentem um bom desempenho passivo, são traçadas estratégias bioclimáticas que conjugam os principais agentes influentes nas necessidades energéticas do edificado – a

localização (clima e geometria solar) e a utilização (ocupação e actividade). Estas estratégias são compostas por um conjunto de medidas passivas que vão determinar a forma do edifício, bem como os seus processos, sistemas e componentes construtivos.

Estratégias de aquecimento:

- Restringir perdas por condução – aumento da massa térmica; aplicação de materiais isolantes nos elementos construtivos envolventes (paredes, coberturas, pavimentos); utilização de vidros duplos nos envidraçados e caixilharia com baixo coeficiente de transmissão térmica.
- Restringir perdas por infiltração de ar não controladas – estanquidade das caixilharias; protecção dos ventos dominantes, por exemplo com vegetação; escolha de uma boa localização para o edifício (neste caso relativamente ao vento). Porém, garantir caudal de ar mínimo de forma a assegurar a qualidade do ar interior.
- Promover ganhos solares – orientação dos envidraçados para a direcção com mais horas de radiação solar (para casos no hemisfério Norte, para Sul); utilização de sistemas solares passivos como paredes de Trombe, entre outros.

Estratégias de arrefecimento:

- Promover a ventilação natural – localização adequada dos vãos; janelas operáveis pelo utilizador; garantir caudal de ar mínimo de forma a assegurar a qualidade do ar interior;
- Restringir ganhos solares – protecção solar, por exemplo utilização de dispositivos de sombreamento ou vegetação; orientação adequada dos vãos; vidros reflectantes;
- Promover o arrefecimento por evaporação – utilização de espelhos de água e vegetação (aplicável em climas temperados secos, e climas de regiões desérticas áridas e muito secos);
- Promover o arrefecimento por radiação – emissão de radiação por parte dos elementos da envolvente exterior do edificado, tendo mais efeito durante o período nocturno em virtude da ausência de radiação solar directa.

A arquitectura é bioclimática!

Definir Arquitectura é uma tarefa complexa não só devido à sua ampla abrangência disciplinar (matemática, ciências, artes, tecnologia, ciências sociais, política, história, filosofia, sociologia, entre outras) mas também devido à sua amplitude de escala ou de diversidade de programa. Para além disso, está em constante mutação à medida que a economia, a tecnologia, a sociedade e a política evoluem.

Os pilares desta arte são considerados a funcionalidade, a construção e a estética (Evers, 2003) e, para combiná-los da melhor forma, a arquitectura deve satisfazer determinadas regras e critérios. Na citação seguinte são descritos, por Lúcio Costa, alguns dos deveres da Arquitectura:

*"Arquitectura é antes de mais nada **construção**, mas construção concebida com o propósito primordial de **ordenar e organizar o espaço** para determinada **finalidade** e visando a determinada **intenção**. E, nesse processo fundamental de ordenar e expressar-se, ela se revela igualmente e não deve se confundir com arte plástica, porquanto nos inumeráveis problemas com que se defronta o arquitecto, desde a germinação do projecto até à conclusão efectiva da obra, há sempre, para cada caso específico, certa **margem final de opção entre os limites** - máximo e mínimo - determinados pelo **cálculo**, preconizados pela **técnica**, condicionados pelo meio, reclamados pela **função** ou impostos pelo **programa**, - cabendo então ao sentimento individual do arquitecto, no que ele tem de artista, portanto, escolher na escala dos valores contidos entre dois valores extremos, a forma plástica apropriada a cada pormenor em função da unidade última da obra idealizada. A **intenção plástica**, que semelhante escolha subentende, é precisamente o que distingue a arquitectura da simples construção."*

In: Lúcio Costa, Registro de uma vivência. São Paulo: Empresa das Artes, 1995. 608p.il.

Lúcio Costa não menciona a palavra "sustentável", mas ao referir que a arquitectura é condicionada pelo meio, afirma que é condicionada pelo meio envolvente, ou seja, pelo clima, pelos recursos naturais, entre outros aspectos como a cultura ou a política.

O "conceito bioclimático" pode ser visto, então, como um dos pilares da arquitectura, em que nele está implícito o respeito pelo ambiente e pela vida pois se não respeitarmos o meio ambiente, as consequências podem ser catastróficas para todos os seres vivos, ou seja, também para nós próprios.

Apesar de todas as vantagens da implementação das estratégias bioclimáticas, estas não dispensam a sua complementaridade com sistemas activos. Isto, porque o grau de conforto exigido é cada vez mais elevado e as condições climáticas cada vez mais variáveis e imprevisíveis, sendo que as medidas passivas, por si só, não são capazes de responder a 100% a esse nível de exigência. Estes sistemas devem ter como recurso as energias renováveis, como no caso dos colectores solares e dos painéis fotovoltaicos. Se tal não for possível, a climatização deve ser feita através de equipamentos eficientes em termos energéticos.

Contudo, as estratégias bioclimáticas devem estar sempre em primeiro lugar, para que as necessidades energéticas sejam mínimas. Só posteriormente se deve recorrer aos sistemas activos. Esta é a forma mais indicada para conseguir alcançar a tão vantajosa eficiência energética e, possivelmente, um consumo de energias fósseis nulo, como no caso dos edifícios “NZEB”.

Net Zero Energy Building (NZEB) são edifícios com um balanço anual de energia nulo. Isto é, estes edifícios produzem tanta ou mais energia como aquela que consomem, ao longo de um ano. Para terem “zero” consumo de combustíveis fósseis e “zero” emissões de GEE, a energia produzida tem de vir de fontes renováveis. NZEB é um conceito próximo do ideal, que seria a total independência de energias fósseis.

É importante sublinhar que a redução das necessidades energéticas através do desenho bioclimático assim como através da melhoria da qualidade térmica da envolvente do edificado é a primeira estratégia para obter um consumo anual de energia igual a zero (IEA, 2009).

2.3 Conforto

Este parâmetro resulta de sensações humanas, sendo subjectivo o grau de conforto sentido e, por isso, difícil de determinar com exactidão. De uma forma geral, conforto significa bem-estar. Para proporcionar o bem-estar dos ocupantes, é necessário assegurar o seu conforto a vários níveis - térmico, visual, acústico e, ainda, garantir a qualidade do ar interior.

Dado o âmbito deste trabalho, será abordado mais detalhadamente o tema do conforto térmico, enquanto os restantes níveis de conforto serão abordados de forma mais resumida.

Conforto Térmico

“O ambiente interno dos edifícios deve ser de molde a que, com vestuário apropriado, os utentes possam realizar as suas actividades sem sensação de desconforto, causada nomeadamente por trocas de calor exageradas ou desigualdade exagerada de temperatura entre as diversas partes do corpo”.

(Piedade, Rodrigues, & Roriz, 2000)

Os aspectos da construção que podem influenciar o conforto térmico são traduzidos, genericamente, pela sua inércia térmica, a resistência térmica, o factor solar e a protecção solar. Por exemplo, em climas frios as paredes devem ser bem isoladas para restringir as perdas de calor para o exterior, caso contrário a baixa temperatura no interior provocará desconforto.

Outro aspecto que influencia a temperatura interior é a temperatura das superfícies envolventes interiores. As superfícies emitem calor por radiação e a sua temperatura média tem uma contribuição de cerca de 50% para a temperatura sentida no interior, em que os outros 50% são da temperatura do ar no interior (Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007). Por exemplo, um espaço cuja superfície interior é revestida a pedra será mais fresco do que um revestido a madeira.

O grau de conforto é influenciado, ainda, pelo tipo de utilização do edificado (Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007), tornando a sua determinação numa tarefa mais complexa, pois as pessoas têm diferentes percepções do que é o conforto, pelo que uma pode sentir-se bem num determinado ambiente em que outra se sente desconfortável. Isto torna difícil a criação de um método simples e linear para o determinar.

Perante estas circunstâncias, estão incluídos no RCCTE valores limite e valores de referência para assegurar as condições básicas de conforto nos espaços interiores, sem que isso tenha como consequência um consumo excessivo de energia, de acordo com a zona climática. Os valores limite admissíveis são o coeficiente de transmissão térmica (U) da envolvente (para o Inverno) e o factor solar dos envidraçados (para o Verão).

De forma a otimizar o grau de conforto térmico no interior é aconselhável conceder a possibilidade de regulação dos sistemas de climatização aos ocupantes, que poderão geri-lo ao longo do dia e do ano, originando assim a possibilidade de adaptação a necessidades individuais.

“Users are typically less satisfied if the temperature is controlled by a central air-conditioning unit that they cannot regulate individually.”

(Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007)

O tipo de utilização do edifício por parte dos ocupantes influencia as cargas térmicas e, por consequência, as necessidades energéticas para a climatização do ambiente interior:

- Tipo de actividade praticada pelos utilizadores: determina a sua temperatura corporal, não só pela actividade em si mas também pelo vestuário. Quanto maior for a temperatura, maior é a carga térmica (logo menor é a necessidade de aquecimento e maior a de arrefecimento);
- Quantidade de utilizadores: quanto mais utilizadores, maior a carga térmica;
- Período de ocupação: é importante na medida em que é favorável saber quando e por quanto tempo estas cargas térmicas têm influencia nas necessidades energéticas do edifício.

Conforto Visual

O conforto visual consiste fundamentalmente em ter iluminação suficiente para o utilizador ter uma percepção real do espaço onde se encontra ou circula e ver claramente os objectos incluídos nesse espaço. Tal como no caso do conforto térmico, a determinação do grau de conforto visual é subjectiva, sendo necessário adaptar os níveis de iluminação às actividades que decorrem nos espaços interiores (González, 2004). De forma geral, deve-se ter em conta as seguintes referências:

- Evitar a iluminação excessiva, tal que o utilizador tenha dificuldade em visualizar o espaço, devido ao encandeamento por ela provocado;
- Impedir a existência de contrastes, quer devido ao contraste acentuado de sombras, quer na transição de espaços muito iluminados para espaços pouco iluminados e vice-versa;
- Ter em conta a cor da superfície envolvente interior (quanto mais clara, mais luminosidade confere);
- Aproveitar ao máximo a iluminação natural, não só por reduzir o consumo energético, mas também devido aos benefícios ao nível da saúde humana.

Qualidade do ar interior (conforto higiénico)

O tempo de permanência das pessoas no interior de edifícios é estimado em cerca de 90% do dia (Pinheiro, 2006) e, por isso, a qualidade do ar interior (QAI) é um factor que influencia a saúde dos ocupantes, bem como a sua produtividade. Em 2006, foi instituído o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios – SCE, composto por um extenso pacote legislativo (Decretos-Lei n.º78, 79 e 80 de 4 de Abril de 2006), que prevê a obrigatoriedade de auditorias à QAI.

A utilização de materiais que podem conter ou libertar substâncias perigosas, bem como condições de humidade, temperatura ou ventilação inadequadas, ou sistemas que podem permitir o desenvolvimento de agentes patogénicos (por exemplo, o ar condicionado), podem originar riscos de saúde para os utilizadores, tanto mais acrescidos pelo nosso tempo de permanência no interior dos edifícios (Tirone & Nunes, 2007).

A ventilação é responsável pelas renovações de ar, que, por sua vez, têm interferência nas necessidades energéticas do edifício, pois permitem a entrada de ar do exterior para o ambiente interior, originando perdas ou ganhos térmicos. Nos climas frios, por exemplo, as renovações de ar podem vir a ser responsáveis por grande parte das necessidades de aquecimento do edificado sendo, por isso, indispensável a minimização dos caudais de ar, sendo que o valor mínimo é limitado por valores que asseguram a QAI.

Conforto Acústico

A perturbação do conforto acústico pode surgir de duas origens: por ruídos vindos do exterior e pela configuração do espaço interior e dos materiais utilizados.

O grau de ruído exterior depende da localização e orientação do edifício e pode ser mitigado, por exemplo, através da utilização de barreiras sonoras (construídas ou naturais, como árvores e arbustos) e através da própria construção, em que o isolamento acústico deve ser mais forte, seja o grau de ruído exterior mais elevado.

Relativamente ao conforto acústico gerado pelo próprio espaço, este é influenciado pela sua volumetria, pelos materiais de revestimento das superfícies interiores, bem como dos objectos presentes nesse espaço.

Tal como em qualquer nível de conforto (térmico, visual, higiénico), o grau de conforto acústico exigido depende do tipo de utilização do espaço em questão.

Em síntese, a adaptação da solução arquitectónica ao clima e ao tipo de utilização influencia o grau de conforto sentido no interior do edificado. O conforto resultante desta adaptação é conferido de forma natural ou passiva, o que significa que não implica o consumo de energia. Isto quer dizer que, se o nível de conforto conferido não for o desejável, maiores serão as necessidades energéticas do edifício.

O conforto é, então, a chave para reduzir as necessidades energéticas para climatização. A eficiência energética de um edifício consiste em ter um consumo energético mínimo, sem comprometer o conforto dos ocupantes e, por esta razão, a arquitectura bioclimática é tão importante, quando se pretende alcançar a eficiência energética.

2.4 Regulamentação

Para um bom desempenho energético dos edifícios, foi implementada legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios, da qual se esperam tanto economias significativas de energia bem como um aumento do conforto no interior dos mesmos.

A regulamentação aplicável neste âmbito aos edifícios de habitação é o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril) e aos edifícios de serviços o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril).

RCCTE

Em Portugal, os edifícios construídos antes da entrada em vigor da regulamentação relativa ao comportamento térmico e ao consumo energético dos edifícios não satisfazem as condições mínimas de conforto térmico. O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, foi o primeiro instrumento legal aplicado a edifícios de habitação e de serviços sem sistemas de climatização centralizados a impor requisitos à construção e remodelação de edifícios, de forma a garantir a satisfação das condições de conforto térmico sem consumos de energia excessivos.

Mais de uma década após a sua entrada em vigor, os resultados pretendidos foram alcançados com sucesso, tendo sido possível notar uma melhoria da qualidade da construção em Portugal. Exemplos desta melhoria são a aplicação de isolamento térmico e a utilização de vidros duplos, que se tornaram prática comum na construção assim como nas intervenções de reabilitação.

Como tal, alguns dos pressupostos definidos em 1990 viriam a mudar e, por esta razão, foi feita uma revisão do regulamento, cuja actualização foi aprovada pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, revogando o Decreto-Lei n.º 40/90. Em destaque, encontra-se o aumento da utilização de equipamentos de climatização, que levou à imposição de limites aos consumos decorrentes da sua potencial existência e uso. Não sendo possível o estabelecimento de um consumo padrão no sector residencial, dado o uso destes equipamentos não ser permanente e as condições interiores serem variadas, foram fixadas condições ambientais de referência, segundo padrões típicos admitidos como os médios prováveis, para cálculo dos consumos energéticos nominais. A maior estanqueidade dos vãos envidraçados também conduziu a alterações no regulamento,

nomeadamente dos requisitos de renovação do ar, isto porque as renovações de ar (não controladas), que ocorriam devido à fraca estanqueidade dos vãos, sofreram uma acentuada diminuição, provocando uma maior acumulação de gases nocivos para a saúde dos ocupantes no interior dos edifícios.

Entre as alterações mencionadas, foi adicionada ainda a obrigatoriedade da instalação de colectores solares para a produção de água quente sanitária (AQS). O RCCTE foi e deve ser continuamente actualizado de acordo com a evolução dos contextos social, económico e energético, tendo como objectivo a melhoria da qualidade térmica dos edifícios e a redução dos consumos energéticos.

RSECE

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), aprovado pelo Decreto-Lei nº.79/2006, aplica-se a edifícios com área útil superior a 1000m² dotados de sistemas de climatização com potência superior a 25 kW, entre outros descritos no regulamento, e visa a utilização eficiente dos sistemas de climatização, baseando-se nos requisitos de qualidade térmica da envolvente, fixados no RCCTE.

O RSECE impõe o valor máximo do consumo energético global em função do uso dos espaços, para todo o edifício, em particular para a climatização e estabelece limites de potência dos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios bem como os requisitos mínimos da sua manutenção. Para além das questões energéticas, este regulamento pretende salvaguardar a qualidade do ar interior (QAI) através da imposição de requisitos mínimos de renovação do ar e de manutenção dos equipamentos.

O RSECE estabelece ainda a obrigatoriedade de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios tanto em termos de consumos energéticos como da QAI.

Deve referir-se que o conjunto de regulamentos acima referidos, que baseiam o SCE está neste momento em fase de revisão, sendo previsível a publicação das respectivas actualizações no ano de 2011, incorporando já as imposições da Directiva Europeia 2010/31/EU, de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios e que, por sua vez, constitui a revisão da Directiva 2002/91/CE.

O edifício estudado no âmbito da presente dissertação, um hotel de três estrelas, é um edifício não residencial com área útil superior a 1000 m², pelo que o regulamento aplicável quanto ao desempenho energético é o RSECE. No entanto, no contexto deste trabalho, que é o estudo do comportamento térmico das fachadas, o regulamento aplicado para efeito dos respectivos cálculos é o RCCTE, tal como é indicado no RSECE:

Artigo 4.º

Requisitos exigenciais

1—Os requisitos exigenciais de conforto térmico de referência para cálculo das necessidades energéticas, no âmbito do presente Regulamento, são os fixados no RCCTE, tendo ainda em conta que a velocidade do ar interior não deve exceder os 0,2 m/s e que quaisquer desequilíbrios radiativos térmicos devem ser devidamente compensados.

Artigo 6.º

Condições nominais

(...)

3— Todos os novos edifícios de serviços, bem como os existentes sujeitos a grande reabilitação, devem ter envolventes cujas propriedades térmicas obedecem aos requisitos mínimos de qualidade impostos pelo RCCTE.

Artigo 28.º

Requisitos de conforto térmico

Até à publicação de portaria específica, usam-se os mesmos valores definidos pelo RCCTE, no que se refere aos requisitos de conforto térmico.

(RSECE, 2006)

3 FACHADAS E COMPONENTES

“Façade engineering is the art of resolving aesthetic, environmental and structural issues to achieve the enclosure of habitable space.”

(Society of Façade Engineering, 2004)

3.1 Evolução histórica das fachadas

As fachadas são as paredes exteriores de um edifício que, juntamente com a cobertura e com o pavimento, compõem a envolvente de um edifício. A envolvente actua como interface entre o ambiente exterior e o interior (Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007), sendo uma das suas principais funções a protecção dos ocupantes do edifício contra as condições climatéricas, isto é, a temperatura, a precipitação, os ventos e a radiação solar. A envolvente protege ainda os ocupantes de outros inconvenientes como o ruído e possíveis intrusos. Assim, a envolvente tem a função de proporcionar condições de habitabilidade no interior do edifício e, como elemento integrante da mesma, a fachada deve contribuir para o mesmo fim.

O método de construção dos edifícios evoluiu de forma diferente nas várias regiões do planeta, dependendo essencialmente das condições do terreno, da matéria-prima disponível no local e das condições climáticas. Dependia também do tipo de vida do Homem: construção de estruturas de cerramento portante, no caso dos povos sedentários, e de cerramento não portante, no caso dos povos nómadas (Mendonça, 2005).

Inicialmente, as fachadas eram estruturas portantes, compostas por paredes maciças, que suportavam a carga imposta pela cobertura e conservavam o calor no espaço interior, protegendo os seus ocupantes das condições climatéricas locais, dos animais selvagens e até mesmo dos seus semelhantes.

Para ventilar e iluminar o interior, foram abertos pequenos vãos nessas paredes. Todavia, essas aberturas resultavam numa perda térmica significativa, possibilitando ainda a entrada de chuva ou mesmo de intrusos. A solução seria a utilização de vidro (na altura translúcido), que continuava a permitir a iluminação natural do interior. As igrejas do período Pré-Românico e Românico já utilizavam vidros em pequenas dimensões devido às limitações da tecnologia de construção da época. Já as igrejas do Gótico, período em que a tecnologia permitia a abertura

de vãos bem maiores do que os do Românico, eram repletas de vitrais, embora compostos por vidros de pequena dimensão, devido à sua fragilidade(Mendonça, 2005).

No final da Idade Média, começaram a ser utilizadas janelas fixas em casa nobres e em palácios. As janelas eram relativamente pequenas ou tinham envidraçados muito subdivididos, devido às limitações do seu processo de fabrico. Pouco tempo depois, na altura do Renascimento, a utilização de janelas tornou-se mais frequente, evoluindo de diversas formas.

Até ao século XIX, os vidros eram muito caros. Foi apenas na segunda metade do século XIX que, à medida que a arquitectura se libertava das limitações impostas pelas paredes portantes e se verificavam avanços no desenvolvimento da produção do vidro, se tornou mais vulgar a sua utilização em janelas com áreas envidraçadas de maior dimensão(Mendonça, 2005). Este facto veio incrementar mais tarde a necessidade de utilizar sistemas de protecção solar, como palas, persianas e estores, conforme as condições climáticas do local.

A Revolução Industrial representou um grande impulso na evolução da indústria da construção, apresentando, no início do século XIX, novos materiais e métodos de produção: passaram a ser mais utilizados o ferro e o vidro, sobretudo nas fachadas de edifícios de serviços.

À medida que a fachada se tornava cada vez mais independente da sua função estrutural, também devido ao aparecimento das estruturas em betão armado, observou-se um incremento da dimensão dos vãos envidraçados, derivando em sistemas de “fachada cortina” – fachada totalmente envidraçada (Figura 3.1).

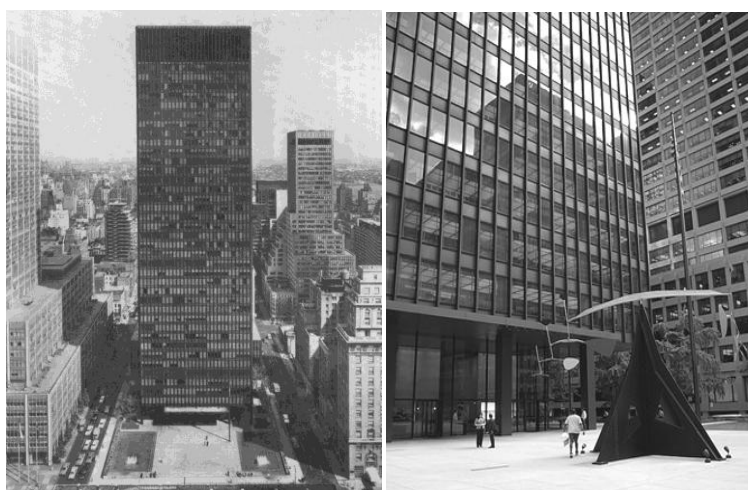


Figura 3.1- Seagram Building, New York. Mies van der Rohe, 1969.

(www.eikongraphia.com)

Porém, o facto dos panos de vidro serem fixos, devido à falta de tecnologia, tornava o interior do edifício totalmente dependente de sistemas de ventilação e climatização mecânicos. Com a crise do petróleo dos anos 70 e a necessidade de racionalização dos consumos de energia, a aplicação deste sistema deixou de ser tão procurada, devido à sua elevada demanda energética, voltando a ser explorado o sistema parede-janela(Wines, 2008).

“(...) architecture has forfeited its richest source of ideas and caused incalculable environmental damage by insisting in a set of design standards divorced from ecological responsibility”.

(Wines, 2008)

A repentina subida dos custos energéticos e a tomada de consciência dos problemas ambientais associados à produção de energia a partir de combustíveis fósseis viria a alterar a tendência que se vinha sentindo na arquitectura desde a Revolução Industrial, que era descontextualizada do clima. Desta forma, sentiu-se uma necessidade crescente de equacionar as implicações energéticas da pele dos edifícios e a partir de então surgem várias inovações para a melhoria da sua eficiência energética.

Desde meados do século XX, o fabrico de janelas não só desenvolveu vários tipos de vidro como também novos materiais, que melhoraram o seu desempenho e funcionamento: foram desenvolvidos perfis, selantes, ferragens e o vidro duplo, enquanto a madeira e o ferro foram substituídos pelo PVC e o alumínio.

Paralelamente, em Portugal, as técnicas construtivas das paredes exteriores também sofreram uma evolução: as paredes, que eram panos simples de elevada espessura em alvenaria de pedra ou tijolo maciço, até aos anos 40 do século XX, passaram a ser constituídas por panos duplos de alvenaria de tijolo vazado com caixa-de-ar entre panos (década de 60/70) e, mais tarde, passaram a ter a sua caixa-de-ar total ou parcialmente preenchida por materiais isolantes (Figura 3.2). A última inovação, que apresenta um bom desempenho térmico, é a aplicação do material isolante pelo exterior, geralmente em paredes de alvenaria de tijolo ou paredes de betão.

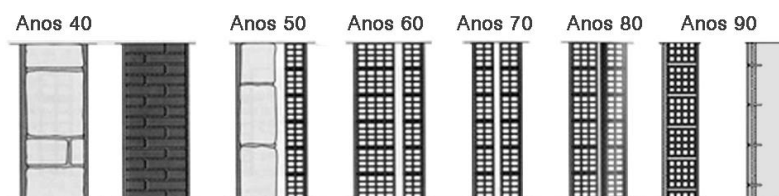


Figura 3.2- Evolução das paredes exteriores em Portugal

(Freitas V. P., 2002)

A evolução das soluções construtivas de paredes exteriores é justificada pela constante procura de resposta às crescentes expectativas de conforto no interior das habitações bem como às imposições legais, que foram surgindo através de regulamentação sobre a qualidade térmica dos edifícios, a partir dos anos 90.

Com a evolução exponencial da tecnologia, a criatividade é estimulada e surgem mais inovações. Em seguida é possível observar alguns exemplos do final do século XX: a utilização de imagens na fachada, tornando esta num meio de transmissão de mensagens (Figura 3.3); formas livres e proeminentes (Figura 3.4 e Figura 3.5), acrescentando efeitos luminosos (Figura 3.6).

No final do século XX, no Relatório de Brundtland (1987), foi definido pela primeira vez o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”: “desenvolvimento que dê resposta às necessidades do presente, sem comprometer as possibilidade de as gerações futuras darem resposta às delas” (*cit. in* Pinheiro, 2006). Voltaram a ser estudados, de forma mais aprofundada, assuntos como a relação entre a arquitectura, o clima e os ocupantes (arquitectura bioclimática) e começaram a ser criados sistemas activos para a produção de energia através de fontes renováveis como o sol, o vento e o movimento da água.

A procura pela eficiência energética tem levado ao desenvolvimento de sistemas de fachadas dinâmicos, responsáveis pelo equilíbrio entre as necessidades energéticas do interior dos edifícios e as condições do seu ambiente envolvente. Actualmente, existe um leque amplo de soluções de fachadas capazes de contribuir para essa eficiência energética e cujo resultado formal é interessante do ponto de vista arquitectónico.



Figura 3.3- Biblioteca do campus de Jussieu, Paris. Herzog & de Meuron, 1993.

(El Croquis, 1993, cit. in Mendonça, 2005)



Figura 3.4- Mathew Nowicki State Fair Arena. Berger, 1996.

(Mendonça, 2005)

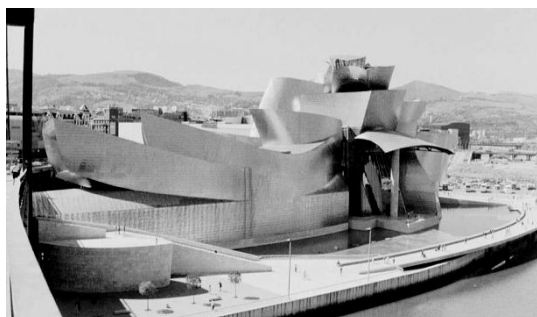


Figura 3.5- Guggenheim Museum, Bilbao. Frank Gehry, 1997.

(Great Buildings, 1997)



Figura 3.6- Kunsthaus, Graz. Peter Cook & Colin Fournier, 2003.

(Jodidio, 2004)

Mais recentemente, tem-se investigado a integração de sistemas activos com recurso a energias renováveis na envolvente dos edifícios (Figura 3.7), como no caso do edifício do Departamento de Energias Renováveis do LNEG⁴, Solar XXI (Figura 3.8). Neste edifício, procurou-se a redução das necessidades energéticas de forma passiva e de forma activa através da integração de painéis fotovoltaicos na fachada (Figura 3.9) que, para além da sua função de produzir energia eléctrica, permitem aproveitar de forma passiva o aquecimento do ar entre estes e a parede, e de colectores solares térmicos na cobertura, de forma a alcançar o máximo de eficiência energética.

⁴ Laboratório Nacional de Energia e Geologia.



Figura 3.7- Integração de células fotovoltaicas em cobertura transparente.

(SAPA, 2010-2011)



Figura 3.8- Edifício SOLAR XXI, Lisboa. 2006.

(INETI, 2006)

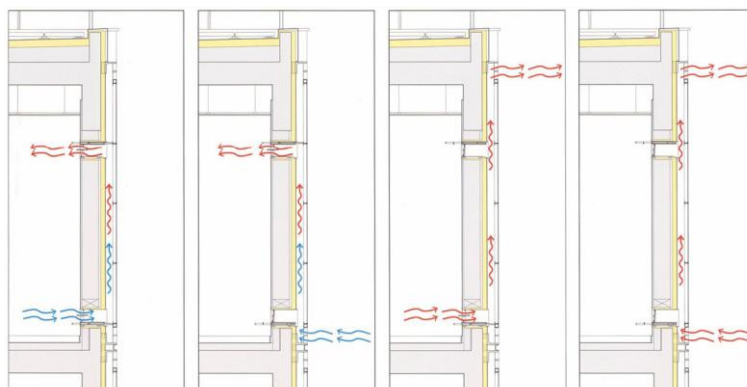


Figura 3.9- Esquema do aproveitamento da integração dos painéis fotovoltaicos para climatização passiva.

(INETI, 2006)

Futuramente, espera-se que a envolvente dos edifícios tenha capacidade de reacção e adaptação às condições exteriores (fachadas reactivas ou inteligentes), conferindo um ambiente confortável durante todo o dia e todo o ano, da forma mais eficaz, tal como acontece com a nossa própria pele, adaptando-se às condições do ambiente exterior.

3.2 Funções e Componentes das Fachadas

A fachada é, tradicionalmente, constituída por elementos verticais opacos – as paredes exteriores - e por elementos verticais não opacos - os vãos envidraçados. Contudo, existem fachadas compostas apenas por envidraçados, designadas por fachadas cortina, ou, na situação oposta, paredes exteriores que não contêm vãos envidraçados, como é o caso das fachadas cegas. No que diz directamente respeito a este trabalho, a fachada pode variar segundo:

- Aspectos estruturais: cerramento portante ou não portante;
- Sistema construtivo: panos simples ou múltiplos e materiais aplicados;
- Transmissão térmica e luminosa: elementos opacos, translúcidos ou transparentes;
- Aspecto formal: varia de acordo com o conceito arquitectónico.

Os aspectos estruturais e de constituição são referentes à parede exterior opaca, enquanto a transmissão térmica e luminosa refere-se tanto à área opaca como à área envidraçada.

A fachada tem interferência tanto no exterior como no interior do edifício:

- No interior do edifício, a fachada desempenha um papel determinante no conforto dos seus ocupantes, tanto em termos térmicos como visuais, acústicos ou higiénicos (qualidade do ar interior). O mau desempenho da fachada, através da incapacidade de proporcionar conforto, resulta no aumento das necessidades energéticas do edifício, o que pode levar a um excessivo consumo de energia para a climatização do ambiente interior. Por exemplo, se a fachada de um edifício localizado num clima quente não tiver protecção solar adequada, o conforto térmico será afectado devido ao sobreaquecimento do ambiente interior. Uma das medidas mais utilizadas em todo mundo para combater esta situação tem sido a utilização de aparelhos de ar condicionado para diminuir a temperatura interior, o que implica um aumento do consumo energético, tendo como consequência um impacte negativo tanto na sustentabilidade económica como na ambiental. Este é um exemplo que demonstra que as fachadas são determinantes para o conforto dos ocupantes no espaço interior e também para a eficiência energética do edifício (Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007), sendo que cada elemento das fachadas contribui de forma diferente.

“The façade is one of the most significant contributors to the energy budget as well as the comfort parameters of a building.”

(Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007)

- No exterior, a fachada pode ter influência ao nível do aspecto visual, mas também ao nível ambiental. Isto é, o mau desempenho energético da fachada, como foi anteriormente referido, pode contribuir para um consumo de energia excessivo, o que interfere em termos ambientais ao nível do consumo de recursos esgotáveis e das emissões de GEE.

Relativamente ao aspecto formal da fachada, este tem uma grande importância, pois funciona como “rosto” do edifício, transmitindo uma primeira impressão do estabelecimento em questão. Ao conceber a fachada, o arquitecto deve ter em consideração o contexto envolvente, dado a fachada interagir não só com os utilizadores do edifício mas também com os transeuntes e os ocupantes de outros edifícios. O seu aspecto exterior deve estabelecer uma relação com o contexto envolvente, seja no sentido de se identificar com este ou no de se destacar, funcionando como meio de expressão de um conceito explorado pelo arquitecto, o qual deve tirar partido da potencialidade comunicante com o exterior que a fachada tem.

“The facade is the building skin that encloses and protects the occupants from weather elements, and it also gives the first impression for the building.”

(Chew & Ping, 2003)

No caso de se tratar de um estabelecimento hoteleiro, a fachada deve ser atractiva, coerente com o conceito do hotel e deve apostar ainda na diferenciação, de forma a ser facilmente identificável ou até mesmo ser icónica. O seu nome – neste caso, Amazónia Lisboa Hotel - remete-nos de imediato para o exotismo da floresta amazónica, o qual poderá ser tomado como inspiração para a solução formal das fachadas, assim como para o desenho dos interiores.

O tipo de hotel também pode influenciar a sua imagem. Por exemplo, no caso de um hotel direccionado para pessoas que viajam por motivos profissionais, é procurada uma imagem mais sofisticada, que proporcione um ambiente agradável e que ofereça condições tanto para trabalho como para descanso e relaxamento. Já no caso de um hotel direccionado para o

turista, pretende-se passar uma imagem que transmita boa disposição e que, em determinados casos, entretenha o olhar do hóspede, como por exemplo através da criação de cenários, situação recorrente em *resorts*.

Como tal, é de extrema importância que as soluções de fachadas, para além de cumprirem os requisitos estruturais, funcionais e energéticos, tenham em consideração o seu resultado formal, permitindo que o hotel beneficie tanto pelo seu desempenho energético como pela sua qualidade estética.

3.3 Elementos verticais opacos – Paredes exteriores

As paredes exteriores podem ser simples (um pano) ou multi-camadas (mais do que um pano) e podem ser:

- Leves (em madeira, metal, placas de gesso cartonado, polímeros e materiais compósitos)
- Pesadas (em pedra, taipa e adobe, tijolo, betão).

No caso das paredes leves, estas nunca são constituídas apenas por um painel, são executadas como parede dupla com caixa-de-ar (Figura 3.10), pois sem um segundo painel não oferecem praticamente nenhum isolamento térmico e acústico. Já as multi-camadas leves, em vez da caixa-de-ar, têm um painel constituído por um material isolante e, para evitar problemas de condensações e de humidade estagnada, são constituídas por um painel de revestimento colocado afastado do painel exterior, criando uma caixa-de-ar ventilada – fachada tripla ou painel *sandwich* (Figura 3.11), a solução de paredes leves mais adequada para climas temperados.

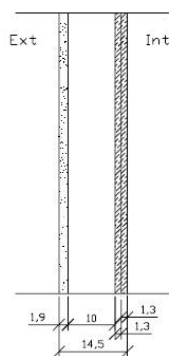


Figura 3.10-Parede dupla leve.

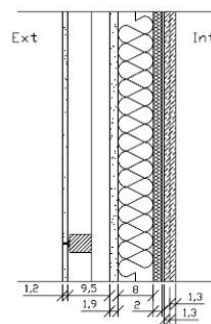


Figura 3.11- Parede tripla leve composta painel *sandwich* e painel ventilado.

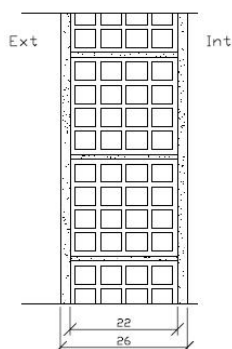


Figura 3.12- Parede simples pesada em tijolo furado rebocado nas duas faces.

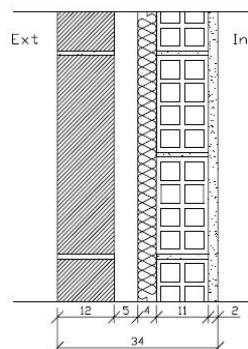


Figura 3.13- Parede dupla pesada em pedra aparente e tijolo furado com isolamento na caixa-de-ar.

(Mendonça, 2005)

As construções inseridas na zona climática onde se encontra o edifício do caso de estudo, particularmente as mais antigas, são caracterizadas pela utilização de paredes pesadas e maciças (Figura 3.12). Este facto deve-se à inércia térmica elevada que os materiais pesados têm e também pela sua disponibilidade local. A inércia térmica é muito útil neste tipo de clima, pois confere alguma estabilidade da temperatura e, assim, garante o conforto térmico nos espaços interiores dos edifícios.

Os principais aspectos relacionados com os elementos verticais opacos que influenciam o desempenho térmico da fachada são:

- A inércia térmica;
- A resistência térmica;
- As pontes térmicas;
- A humidade.

(DGEG, 2004)

3.3.1 Inércia térmica

A inércia térmica de um material é a sua capacidade de absorção e armazenamento de calor. A inércia térmica pode ser calculada por $I = \sqrt{\lambda \rho c}$, em que λ é a condutibilidade térmica ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), ρ a massa volúmica (kg/m^3) e c o calor específico ($\text{J}/^\circ\text{C}$). A rapidez de absorção de calor depende, inicialmente, da condutibilidade térmica do material e, numa fase posterior, do calor específico, que se traduz na sua capacidade de armazenamento de calor (Piedade, Rodrigues, & Roriz, 2000).

O correcto dimensionamento da inércia permite o amortecimento da transmissão de calor assim como o seu desfasamento temporal. A massa térmica absorve os ganhos de calor durante o dia, reduzindo a carga de arrefecimento, e liberta-os à noite, reduzindo a carga de aquecimento. Assim, a inércia térmica contribui para a estabilização da temperatura interior (Figura 3.14) e, por esta razão, é muito útil em climas com amplitudes térmicas diárias grandes como em Portugal.

O funcionamento da inércia térmica deve ainda ser analisado em função da estação do ano (aquecimento ou arrefecimento) e em função do tipo de utilização do edifício (contínuo, intermitente ou casual), visto que este interfere nos ganhos de calor.

Na estação de aquecimento, os ganhos de calor são absorvidos durante o dia e durante a utilização dos espaços interiores, dando-se o retardamento das perdas térmicas por condução para o exterior. É ainda aconselhável a aplicação de isolamento térmico pelo exterior para potenciar este efeito, pois reduz as perdas de calor pela parede (Figura 3.15).

Na estação de arrefecimento, a inércia térmica da fachada retarda a transmissão de calor para o interior do edifício por um lado, e absorve o calor resultante da radiação solar directa no interior do espaço, por outro. O calor absorvido pela fachada durante o dia é irradiado continuamente para o interior do edifício durante a noite, sendo aconselhável recorrer à ventilação natural nessa altura, de forma a evitar o sobreaquecimento do ambiente interior e, simultaneamente, recuperar a capacidade de absorção do calor do dia seguinte.

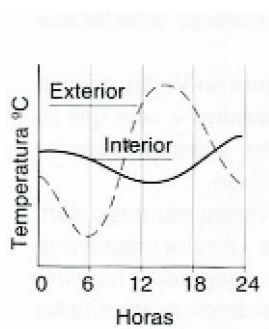


Figura 3.14- Inércia Térmica.

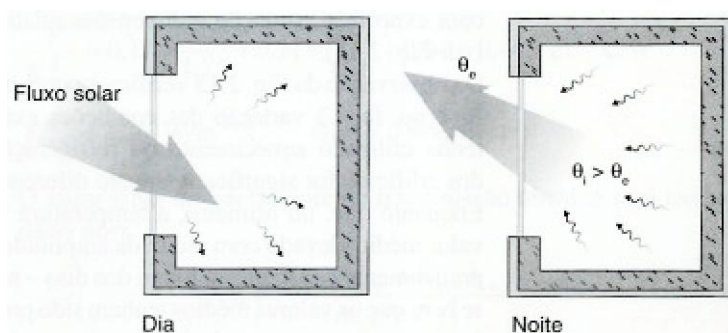


Figura 3.15- A importância do isolamento exterior para a inércia térmica.

(Piedade, Rodrigues, & Roriz, 2000)

3.3.2 Resistência Térmica

A resistência térmica dos materiais permite calcular o coeficiente de transmissão térmica U , que é o valor que caracteriza termicamente os elementos construtivos. Esse valor tem de se enquadrar nos limites estabelecidos no RCCTE.

O coeficiente de transmissão térmica U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) de **um elemento** é a “quantidade de calor por unidade de tempo, que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa” (RCCTE, 2006). Por outras palavras, é o inverso da soma das resistências térmicas superficiais interior (R_{si}) e exterior (R_{se}) e da resistência térmica de cada camada constituinte do elemento (R_j em $m^2 \cdot ^\circ C/W$). Quanto maior a resistência térmica, menor é o valor de U de um elemento, ou seja, menor é a transmissão térmica por condução.

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum_j R_j + R_{si}}, (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

A resistência térmica R ($m^2 \cdot ^\circ C / W$) de um material j é determinada pelo quociente da espessura e pela condutibilidade térmica λ do material:

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j}, (m^2 \cdot ^\circ C / W)$$

Em que a condutibilidade térmica λ ($W/m \cdot ^\circ C$) é a propriedade que caracteriza o **material homogéneo** (de cada camada que compõe o elemento) e que representa a “quantidade de calor (W/m^2) que atravessa uma espessura unitária (m) do material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabeleça uma diferença unitária de temperatura ($^\circ C$)” (Santos & Matias, 2006).

Os valores da condutibilidade térmica dos materiais correntes de construção e de resistências térmicas das camadas não homogéneas mais utilizadas constam da publicação do LNEC *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Esta publicação contém igualmente uma listagem extensa do valor dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos de construção mais comuns.

As soluções construtivas utilizadas tradicionalmente até à entrada em vigor da regulamentação térmica dos edifícios geralmente apresentam características térmicas insatisfatórias do ponto de vista do mesmo (Piedade, Rodrigues, & Roriz, 2000).

Actualmente, para corresponder aos valores limite de U exigidos pelo regulamento em vigor, é indispensável a utilização de materiais isolantes na construção. Estes asseguram o aumento da resistência térmica dos elementos opacos da fachada, sem aumentar significativamente o peso da construção, permitindo a sua aplicação em edifícios existentes sem grandes complicações.

O isolamento pode ser feito através de variados materiais, e pode ser aplicado pelo interior, na caixa-de-ar ou pelo exterior do edificado (vd. 0).

3.3.3 Pontes térmicas

As pontes térmicas são pontos localizados na envolvente do edifício onde há maior transmissão de calor em relação à zona corrente dos elementos da envolvente (DGEG, 2004). Este fenómeno favorece o aparecimento de condensações superficiais que podem causar danos na envolvente do edifício, afectando o seu desempenho térmico e o seu estado de conservação.

As principais consequências da existência de pontes térmicas são:

- Perdas térmicas acrescidas em zonas pontuais;
- Aumento do risco de ocorrência de condensações superficiais que potenciam a degradação dos revestimentos interiores (rebocos e tintas) e o desenvolvimento de microrganismos como o bolor, afectando a qualidade do ar interior;
- Fissurações provocadas pela heterogeneidade das temperaturas superficiais interiores nas junções de materiais diferentes (alvenarias/pilares e vigas);

Existem dois tipos de pontes térmicas:

- Ponte térmica plana (PTP);
- Ponte térmica linear (PTL).

Podem encontrar-se PTP em pilares (Figura 3.16), em vigas (Figura 3.17) e até em caixas de estore (Figura 3.18). Estes elementos têm um coeficiente de transmissão térmica superior ao da respectiva zona corrente, permitindo um maior fluxo de calor através deles. Nas zonas de PTP, como em qualquer elemento construtivo no qual se considere um fluxo de calor entre superfícies, o coeficiente de transmissão térmica é calculado na direcção perpendicular ao plano da parede e, nos termos regulamentares em vigor, não pode ter um valor superior ao dobro do da zona corrente respectiva.

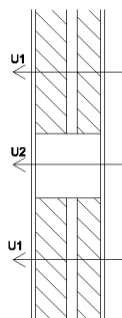


Figura 3.16- Pilar intermédio.

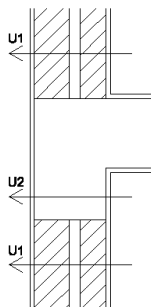


Figura 3.17- Talão de viga.

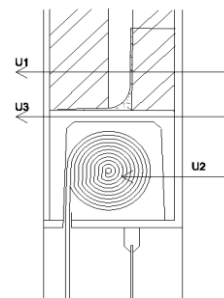


Figura 3.18- Caixa de estore.

(Freitas V. P., 2002)

A ligação da fachada com pavimentos intermédios (ver Figura 3.19) ou a ligação da fachada com varanda são exemplos de PTL. Para calcular as perdas térmicas deste tipo de ponte térmica, é necessário multiplicar o coeficiente de transmissão linear (presente no anexo IV do RCCTE) pelo seu desenvolvimento linear medido pelo interior.

Na reabilitação de fachadas, a forma mais eficiente de reduzir significativamente as pontes térmicas é através de soluções em que o isolante é aplicado pelo exterior, como se pode confirmar na Figura 3.19.

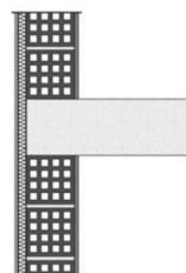
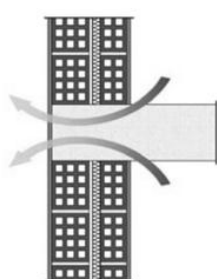


Figura 3.19- PTL, comparação do sistema de isolamento no interior da caixa-de-ar com o sistema de isolamento pelo exterior.

(Freitas V. P., 2002)

3.3.4 Humidade

A humidade é originada pela condensação do vapor de água presente no ambiente interior. O vapor de água é produzido pelos ocupantes através da sua respiração e transpiração e pela evaporação de água quente, que ocorre geralmente em instalações sanitárias e cozinhas. Ao entrar em contacto com uma superfície a uma temperatura abaixo do ponto de orvalho do ar interior o vapor de água condensa alternado o seu estado para a fase líquida(DGEG, 2004).

O fenómeno de condensação pode ocorrer devido a uma fraca ventilação, incapaz de remover o excesso de vapor de água, ou devido a um isolamento térmico com descontinuidades (pontes térmicas).

Em alguns casos, os problemas de humidade podem ser provenientes de infiltrações de água do exterior ou até mesmo de rupturas das instalações hidráulicas, sendo, então, aconselhável saber qual a origem do aparecimento da humidade para encontrar a solução adequada.

A presença de humidade afecta não só o desempenho energético das paredes exteriores mas também a durabilidade dos materiais, comprometendo o estado de conservação do edifício. A sua persistência pode originar a degradação de estuques e rebocos e, em excesso, pode ser prejudicial para a saúde, pois cria condições favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais para a saúde (DGEG, 2004).

Este fenómeno pode ainda ocorrer no interior dos elementos construtivos da envolvente do edifício e causar danos que comprometem a sua durabilidade. Para além disso, a humidade provoca uma redução da eficiência do isolamento térmico, pois aumenta a condutibilidade térmica da maioria dos isolantes(DGEG, 2004).

3.4 Elementos verticais não opacos – Vãos envidraçados

“Área de vãos envidraçados é a área, medida pelo interior, das zonas não opacas da envolvente de um edifício (ou fracção autónoma), incluindo os respectivos caixilhos.”

(RCCTE, 2006)

Estima-se que entre 25 a 30% das necessidades de aquecimento têm origem nas perdas térmicas através dos vãos envidraçados (Lisboa E-Nova, 2008), pelo que estes merecem uma atenção especial aquando da reabilitação térmica das fachadas. A substituição dos vãos envidraçados é fundamental para a redução das necessidades energéticas, para além de permitir a correcção de outros aspectos como as infiltrações de ar não controladas e o reforço da protecção solar.

Os vãos envidraçados desempenham múltiplas funções, entre as quais a captação de energia solar, ventilação, conexão visual com o exterior e iluminação. São caracterizados segundo:

- Tipo de caixilharia: de madeira, metálica (com ou sem corte térmico) ou de plástico (PVC);
- Tipo de vão envidraçado: simples (uma janela) ou duplo (duas janelas);
- Número de vidros: simples, duplo ou triplo (variando também no gás entre vidros);
- Tipo de vidro: extra-claro, incolor, reflectante, laminado, baixa-emissividade ou com película de isolamento acústico;
- Tipo de janela: fixa, giratória ou de correr;
- Espessura da lâmina de ar: entre janelas duplas ou entre vidros múltiplos;
- Coeficiente de transmissão térmica: U_w (locais sem ocupação nocturna) e U_{wdn} (locais com ocupação nocturna e dispositivo de oclusão nocturna);
- Tipo de dispositivo de oclusão nocturna / protecção solar: local de aplicação (interior ou exterior), material, opacidade e permeabilidade ao ar.

Fonte: (Santos & Matias, 2006)

Os principais aspectos a ter em consideração para a reabilitação térmica das fachadas, relacionados com os vãos envidraçados são:

- O coeficiente global de transmissão térmica (U);
- A captação da radiação solar (factor solar do vidro, orientação);
- As infiltrações de ar não controladas.

Também a proporção correcta entre a área de envidraçados e a opaca (paredes) é relevante para que os vãos cumpram as suas funções sem prejudicar o conforto dos ocupantes. Isto, porque um vão de grandes dimensões, num clima temperado como o nosso, pode ser vantajoso no Inverno para a captação de energia solar, mas terá um mau desempenho térmico nos restantes meses, causando sobreaquecimento, caso tenha sido mal dimensionado. Por outro lado, se uma área generosa pode ser constituir um benefício nos períodos de insolação no Inverno, representa também uma dificuldade acrescida na medida em que aumenta a perda de calor uma vez que o coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados é elevado.

De modo a evitar a incompatibilidade de comportamento entre a estação de aquecimento e a de arrefecimento, têm vindo a ser desenvolvidos vidros com propriedades variáveis e controláveis: fototrópicos (segundo a radiação incidente), termotrópicos (em função da temperatura), cromogénicos (segundo a diferença de potencial eléctrico entre as superfícies) (Mendonça, 2005).

3.4.1 Coeficiente global de transmissão térmica

A transmissão térmica através dos vãos envidraçados varia de acordo com a conjugação dos factores acima descritos, sendo que as maiores diferenças de transmissão se verificam entre o vidro simples e o duplo e a caixilharia metálica e a plástica.

QUADRO 3.1- Exemplo de coeficientes de transmissão térmica de dois tipos de vão envidraçado.

Coeficiente de transmissão térmica (U)	($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
vidro simples, caixilharia metálica	5,2
vidro duplo, caixilharia plástica	2,9

Fonte: (Santos & Matias, 2006)

Existe uma grande variedade de vidros energeticamente eficientes disponíveis no mercado. O tipo de vidro utilizado mais correntemente em Portugal é o vidro duplo. Este reduz em quase 50% as trocas térmicas em relação aos vidros simples (Enerbuilding, 2008). Essas trocas podem ainda ser minimizadas através da utilização de gases específicos, com condutibilidade térmica muito reduzida, entre os panos de vidro.

Actualmente, existem no mercado diversos tipos de vidro especiais, nomeadamente vidros de baixa emissividade e vidros com lâminas preenchidas com gases raros, como o argon, SF ou krypton, que reduzem ainda mais as perdas térmicas. No entanto, o investimento em vidros com características de isolamento térmico reforçado dificilmente é rentabilizado em termos económicos (DGEG, 2004).

A adopção de vidros duplos, para além de reduzir as trocas térmicas e melhorar o conforto térmico, evita ainda a ocorrência de condensações e melhora o conforto acústico.

Apesar de a sua área ser reduzida em relação aos outros elementos da fachada, a caixilharia desempenha igualmente um papel determinante nas transferências térmicas entre o exterior e o interior. As caixilharias que apresentam melhores propriedades térmicas (U menor) são as de madeira, PVC ou alumínio com corte térmico.

3.4.2 Captação da radiação solar

A captação da radiação solar através dos vãos envidraçados, correntemente designada por ganhos solares, é uma estratégia solar passiva favorável à redução das necessidades de aquecimento, no Inverno.

A propriedade do vidro que determina a sua capacidade de captação de energia solar do vidro é o factor solar, que *“determina a fracção da energia incidente no vidro que penetra no interior do edifício”* (Piedade, Rodrigues, & Roriz, 2000). Porém, não é possível quantificar o contributo energético do vidro através deste factor.

Mesmo assim, é importante ter o conhecimento das implicações da orientação solar dos vãos envidraçados, pois esta interfere no conforto sentido nos espaços interiores e também pode requerer um diferente tipo de solução construtiva; por exemplo, existem materiais que não devem estar expostos à radiação solar directa ou cores de acabamento que devem ser evitadas.

Para conhecer então o percurso do Sol ao longo do ano, é imprescindível proceder ao estudo da geometria solar. Isto, porque o ângulo e o período de incidência solar varia segundo o local, a hora e o dia do ano (Figura 3.20 e Figura 3.21).

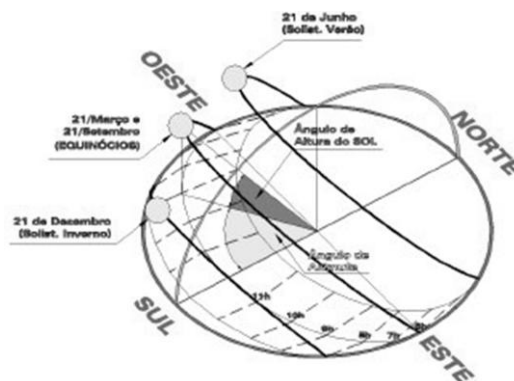
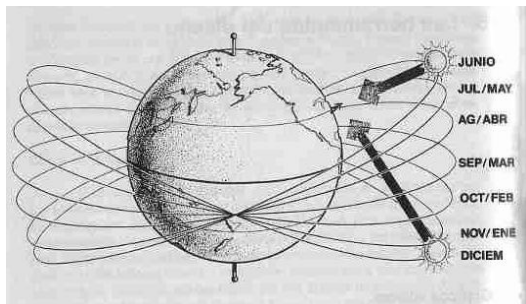


Figura 3.20- Variação do ângulo entre o Sol e a Terra.

Figura 3.21- Percursos do Sol no hemisfério norte.

(Gonçalves & Graça, 2004)

A geometria solar estuda a trajetória do Sol ao longo de todo o ano através das cartas solares, as quais contêm as projecções dos ângulos horizontais e verticais que o Sol faz com a Terra. Esses ângulos variam de acordo com o hemisfério e com a latitude do local, existindo cartas adaptadas às diferentes situações.

Quando se faz o estudo da geometria solar para um edifício, deve ser tida em conta a sua forma e eventuais obstruções à incidência solar como edifícios vizinhos, árvores, palas, etc.

Como se pode observar na Figura 3.21, para o hemisfério Norte:

- No Inverno, o ângulo da altura do Sol é menor e os raios solares entram pelos envidraçados com profundidade. O Sol nasce próximo da orientação Sudeste e põe-se próximo da orientação Sudoeste, o que significa que o Sol incide essencialmente nas superfícies viradas a Sul e que o período de radiação solar durante o dia é reduzido.
- No Verão, o ângulo da altura do Sol é maior e os raios solares entram pelos envidraçados com pouca profundidade a Sul. O Sol nasce próximo da orientação Nordeste e põe-se próximo da orientação Noroeste, o que significa que o Sol incide em todas as superfícies, sendo o período de incidência nas superfícies a Norte muito reduzido, e que o período de radiação solar durante o dia é mais longo do que no Inverno.

Em síntese, as superfícies viradas a Sul recebem o máximo de radiação solar no Inverno e têm fraca incidência solar directa no Verão (devido à altura do Sol). As superfícies a Norte devem

ser bem isoladas e ter poucas aberturas, pois não têm praticamente nenhuma incidência solar. As orientações Nascente e Poente são ineficientes em termos de captação da radiação solar não só no Inverno, por não receber radiação directa significativa, mas também no Verão, pois a altura solar nessas orientações é baixa e os raios solares podem penetrar no interior do espaço, afectando o conforto térmico e visual.

Para maximizar a captação da energia solar, os vãos orientados a Sul devem estar desobstruídos e a energia recebida deve ser armazenada na massa térmica dos outros componentes da construção para que o calor comece a ser libertado no final do dia, quando é mais necessário.

É imprescindível referir que, em climas temperados, os vãos envidraçados devem estar dotados de protecção solar no Verão, de forma a restringir os ganhos solares (vd. pág. 62).

A captação da radiação solar pode ser realizada através de sistemas de ganhos directos, indirectos ou isolados (vd. 3.5.1).

3.4.3 Infiltrações de ar não controladas

O caixilho é o elemento de transição entre as áreas opacas e as áreas envidraçadas da fachada e tem como principais funções garantir a estanquidade e a operacionalidade dos vãos. Quando o caixilho não garante a estanquidade ao ar, possibilita trocas térmicas que, por sua vez, podem aumentar as necessidades energéticas do edifício(DGEG, 2004).

Contudo, a estanquidade pode prejudicar a qualidade do ar interior, caso não ocorra o número mínimo de renovações de ar, pois não permite a evacuação de gases prejudiciais para a saúde, que resultam da respiração dos ocupantes assim como da combustão de aparelhos de queima. Podem surgir também problemas de humidade devido ao vapor de água não evacuado.

Para garantir a qualidade do ar interior, deve ser, então, definida uma estratégia de ventilação, pelo menos para garantir as renovações de ar essenciais para a salubridade do ar interior. A ventilação pode ser natural, mecânica ou híbrida. A última, comumente considerada a melhor hipótese, possibilita ventilar naturalmente o espaço interior sem recorrer ao consumo de energia, mas também permite a ventilação artificial, caso não seja suficiente a taxa de ventilação natural.

3.5 Sistemas Passivos

Os sistemas passivos são sistemas que contribuem para a climatização do ambiente interior sem que para isso seja necessário recorrer à energia mecânica. Em vez disso, tiram partido do Sol e das restantes variáveis climáticas do local, como o vento e a chuva, para manter o nível de conforto no interior dos edifícios.

Os sistemas passivos surgem das civilizações mais antigas, cujos abrigos serviam sobretudo para os proteger das condições climáticas, e eram usados para obter maior conforto no interior das habitações. Devido à baixa tecnologia, estes sistemas foram desenvolvidos de forma empírica e o conhecimento foi passado de geração em geração. Estes sistemas funcionavam somente pela sua existência, dispensando o recurso a qualquer fonte externa de energia motora.

Com a evolução da tecnologia, desde a Revolução Industrial, o Homem pôde ignorar todas as condicionantes climáticas e mecânicas de antigamente, o que resultou numa Arquitectura descontextualizada do local (Wines, 2008). Só a partir dos anos 70, com a necessidade de reduzir o consumo de petróleo, o Homem voltou a tentar enquadrar as soluções construtivas no tipo de clima e localização geográfica respectiva.

Os sistemas passivos funcionam de acordo com a orientação da fachada, a forma do edifício e a sua posição relativa a obstáculos sombreadores, como outros edifícios ou vegetação.

QUADRO 3.2- Exemplos de sistemas passivos.

Sistemas de aquecimento	Directos	Envidraçados Lucernário Clarabóia
	Indirectos	Paredes, coberturas e pavimentos de armazenamento térmico
	Isolados	Estufas Sistemas de termosifão
Sistemas de arrefecimento	Directos	Protecção solar Ventilação Construções enterradas Evaporação/Desumidificação
	Indirectos	Radiação nocturna Ventilação dos elementos de armazenamento térmico
	Separados	Ventilação a partir de zonas separadas

Adaptado (Mendonça, 2005)

3.5.1 Sistemas de Aquecimento Passivo

O aquecimento solar passivo assenta na captação da radiação solar (ganhos solares) através dos vãos envidraçados. A energia solar directa é aproveitada, no próprio momento em que está a ser captada, para aquecimento e iluminação.

Aos sistemas de captação de energia solar directa podem associar-se elementos massivos de armazenamento térmico, que libertarão a energia absorvida em forma de calor horas depois do início da absorção (depende da inércia térmica do material).

A captação pode ser realizada das seguintes formas:

- a. Ganho Directo,
- b. Ganho Indirecto ou desfasado;
- c. Ganho Isolado.

a) Sistema de Ganho Directo

Este tipo de sistema (Figura 3.22) é especialmente indicado para climas frios, ou para o Inverno no caso do clima temperado. A superfície envidraçada deverá ser cuidadosamente dimensionada, assim como a respectiva protecção solar no Verão (Figura 3.23), de modo a evitar o sobreaquecimento do ambiente interior.

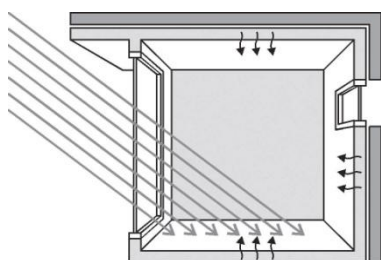


Figura 3.22- Representação esquemática do sistema de ganhos directos.

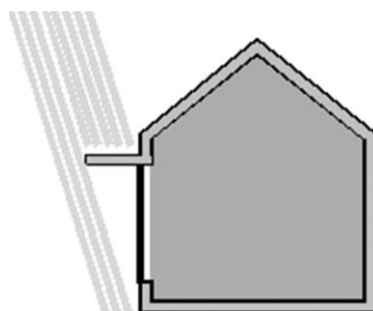


Figura 3.23- Representação esquemática do sombreamento.

(Gonçalves & Graça, 2004)

Na fachada orientada a Sul, a superfície envidraçada deverá ser cerca de 40% da sua superfície total. Se a superfície envidraçada exceder 50% da superfície total, os espaços situados nesse lado ficarão sujeitos a um calor excessivo no Verão, conduzindo a uma diminuição considerável

no bem-estar(Isolani, 2008). Contudo, uma superfície envidraçada reduzida, diminuindo o risco de sobreaquecimento no Verão, diminui também a captação de energia solar, aumentando as necessidades de aquecimento. Por esta razão, é importante um dimensionamento dos vãos envidraçados, adequado à situação geofísica e de programa do edifício.

Os dispositivos de sombreamento (vd. pág. 62) podem ser aplicados no interior ou no exterior dos vãos. Podem ainda ser fixos ou reguláveis. No caso dos fixos, estes devem ser dimensionados de forma a proteger os vãos envidraçados no Verão, mas que deixem entrar os raios solares no Inverno (Figura 3.32). Os reguláveis têm a vantagem de regular o nível de iluminação e de privacidade, para além de regularem a captação de energia solar. Existe também a possibilidade de utilizar vidros reflectantes, que reduzem os ganhos solares por radiação. No entanto, passam a não ser tão eficientes no Inverno.

É ainda aconselhável a utilização de dispositivos de oclusão nocturna, como por exemplo estores, portadas e persianas, de modo a evitar perdas térmicas durante a noite.

Em resumo, quando bem dimensionados, orientados e protegidos, os vãos envidraçados têm a capacidade de proporcionar boas condições de conforto térmico nos ambientes interiores, obtendo uma redução das necessidades energéticas de aquecimento e também de arrefecimento.

b) Ganhos indirectos

Os três sistemas base de ganho indirecto são as paredes acumuladoras (paredes de Trombe), as coberturas de água e o ganho isolado. Sendo que este trabalho não abrange a cobertura, serão referenciados somente alguns exemplos de paredes de Trombe e, no subtítulo seguinte, de ganhos isolados.

As vantagens deste sistema, em relação ao sistema de ganhos directos, são a sua capacidade de conferir temperaturas estáveis, mesmo em dias de fraca radiação, e a sua possibilidade de controlo da absorção de calor, de forma a evitar o sobreaquecimento.

O sistema de ganhos indirectos de uma fachada consiste em aquecer uma massa de ar ou armazenar o calor num elemento de massa elevada (por exemplo: parede, coluna de água), colocada entre uma superfície vidrada e o espaço interior, para que liberte o calor armazenado nas horas seguintes, quando o calor é mais necessário. A libertação de calor pode ser realizada

por condução ou pela combinação da condução com a convecção natural, no caso em que existem aberturas no elemento que separa a massa térmica do espaço interior (Figura 3.24).

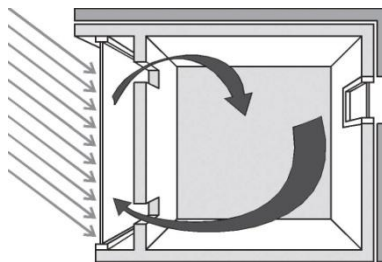


Figura 3.24- Representação esquemática do sistema de ganhos indirectos.

(Gonçalves & Graça, 2004)

O conceito de parede acumuladora de calor ou parede de armazenamento térmico foi patenteado em 1881 por Edward Morse. No entanto, esta parede torna-se popular em 1964, tendo sido desenvolvida pelo engenheiro francês Félix Trombe e o arquitecto Jacques Michel, passando a ter a designação de “Parede de Trombe”. A Figura 3.25 mostra alguns exemplos de paredes acumuladoras, que podem transmitir o calor absorvido por condução e convecção natural, só por condução ou por condução com a adição de ganho directo através de uma janela.

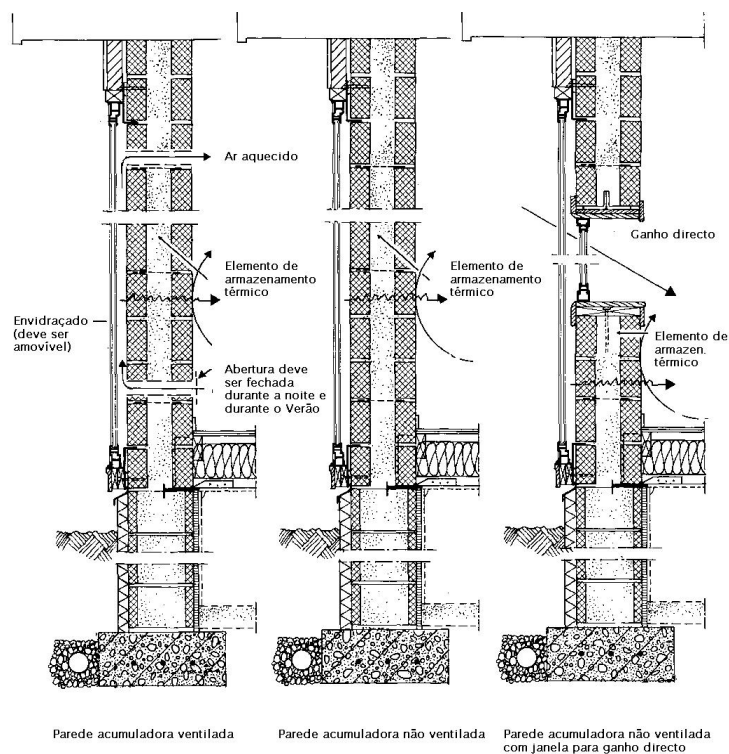


Figura 3.25- Paredes de armazenamento térmico.

(Kok & Andrews, 1989)

Mais recentemente, surgiu um sistema de parede acumuladora ventilada que tem aberturas na superfície exterior e na parede de armazenamento térmico, facultando o controlo da transmissão térmica da parede colectora através da existência de orifícios nas partes inferior e superior da parede (Figura 3.26).



Figura 3.26- Representação esquemática da parede de Trombe (ventilada).

(Portal das Energias Renováveis, 2009)

No Inverno, ao fechar os orifícios exteriores, o ar entre o vidro e a parede aquece. O ar aquecido sobe por convecção natural e circula no interior do espaço de ar entre o vidro e a parede. Através dos orifícios existentes na parede, ocorre uma troca de ar com o ambiente interior o que contribui para o aumento da temperatura no local habitado. Ao mesmo tempo, dá-se o aquecimento da temperatura do ar interior também por condução. Entre estações, é possível regular a temperatura interior ajustando devidamente a abertura dos orifícios entre a parede e o interior e entre o espaço de ar e o exterior. No Verão, a parede deve ter protecção solar e deve ser ventilada, sendo que os orifícios que dão acesso ao espaço interior devem permanecer encerrados, de forma a evitar a entrada de ar quente.

c) Ganhos isolados

Neste sistema, tanto a captação da radiação solar como o armazenamento térmico encontram-se numa área isolada, normalmente denominada de “estufa”. Esta permite a transmissão dos ganhos solares para o espaço interior por condução e, caso haja aberturas, também por convecção natural (Figura 3.27).

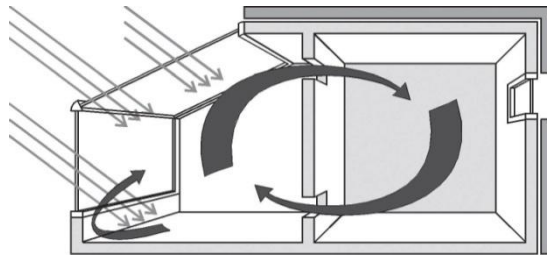


Figura 3.27- Representação esquemática do sistema de ganhos isolados.

(Gonçalves & Graça, 2004)

Este sistema é muito vantajoso em zonas com grande percentagem de dias com céu encoberto, pois tem uma grande capacidade de captação da radiação difusa mas, tal como acontece com os vãos envidraçados, deve ser considerado um mecanismo de oclusão nocturna, para que não ocorram grandes perdas térmicas durante a noite.

O sistema de ganhos isolados também deve ser cuidadosamente dimensionado e orientado, assim como os outros sistemas de ganhos, de forma a evitar o possível sobreaquecimento do ambiente interior no Verão.

Outra vantagem é que a zona de estufa não só transmite calor como também funciona como zona de amortecimento entre o exterior e o ambiente interior, reduzindo as perdas térmicas deste.

3.5.2 Sistemas de Arrefecimento Passivo

Os sistemas passivos de arrefecimento visam diminuir a temperatura do ambiente interior, recorrendo a fontes frias e a soluções arquitectónicas que conduzam à restrição ou atenuação dos ganhos solares e de estratégias de dissipação de calor, traduzindo-se na melhoria do conforto térmico e na diminuição das necessidades de energia para arrefecimento.

Os sistemas de arrefecimento passivo, inseridos no contexto deste trabalho, são:

- a. Ventilação Natural;
- b. Protecção Solar;

a) Ventilação natural

A ventilação natural funciona como estratégia de dissipação de calor, quando a temperatura exterior é mais baixa do que a interior, o que acontece geralmente nas primeiras e nas últimas horas do dia.

A ventilação dá-se de forma natural devido a variações da densidade do ar provocadas pela diferença de temperaturas entre o ar interior e exterior (a densidade do ar quente é menor que a do ar frio, fazendo com que o fluxo frio-quente seja ascendente) e também devido à acção directa do vento sobre o edificado. Por esta razão, o posicionamento e o dimensionamento dos vãos envidraçados (Figura 3.28) são mais uma vez cruciais para o funcionamento correcto de um sistema passivo.

No entanto, no caso da reabilitação das fachadas de um hotel de cidade, normalmente existem limitações quanto ao redimensionamento e reposicionamento dos vãos envidraçados. Na maioria dos hotéis, os quartos têm apenas uma janela, sendo a ventilação natural feita através da janela e uma conduta de evacuação do ar para o exterior do edifício localizada na casa de banho (Figura 3.29).

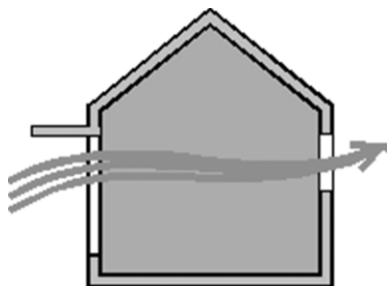


Figura 3.28- Representação esquemática da ventilação natural.



Figura 3.29- Exemplo de ventilação natural em quarto de hotel.

(Gonçalves & Graça, 2004)

A ventilação natural tem muitas vantagens sobre a ventilação mecânica, porém tem alguns inconvenientes como o fraco poder de controlo dos caudais de ar, o comprometimento da qualidade do ar devido à poluição e o comprometimento do conforto acústico devido ao ruído.

Assim, os quartos devem estar equipados com sistemas de climatização (individual, no caso dos estabelecimentos hoteleiros) que proporcionem um ambiente confortável, sendo que estes equipamentos devem implicar a renovação de ar e não apenas o reacondicionamento do ar interior, de forma a garantirem a qualidade do ar interior.

b) Sistemas de Protecção Solar

Os vãos envidraçados têm a capacidade de captar a energia solar, o que é muito vantajoso no Inverno, mas pode ser muito inconveniente no Verão por provocar sobreaquecimento, afectando o conforto térmico e aumentando as necessidades de arrefecimento. Os sistemas de protecção solar têm a função de equilibrar a captação/restricção dos ganhos solares nos momentos adequados.

Para além da melhoria do conforto térmico, o controlo da captação da radiação solar promove a melhoria do conforto visual, reduzindo os níveis de contraste de iluminação e a privacidade.

Para restringir os ganhos solares, os vãos envidraçados devem ser munidos de dispositivos de protecção solar, os quais podem ser compostos por elementos naturais, como árvores e sebes, ou por elementos construídos, como palas e toldos, etc. Os sistemas de sombreamento podem ser classificados segundo a sua localização no edifício e segundo a sua possibilidade de manuseamento:

- Exteriores (por ex: palas), interiores (por ex: cortinas) ou incorporados (entre os panos de vidro);
- Fixos (por ex: palas) ou reguláveis (por ex: estores).

O material e a cor das protecções também têm influência no seu desempenho, na medida em que a sua capacidade de reflexão/absorção varia, como se pode observar no seguinte quadro:

O sombreamento pelo exterior tem um custo mais elevado e exige mais manutenção do que o sombreamento pelo interior, mas é mais eficaz na restrição dos ganhos solares, pois evita a absorção da radiação solar, sendo rapidamente amortizáveis em termos de balanço energético pela energia economizada.



Figura 3.30- Diferença de absorção da radiação solar em estor de lâminas exterior e interior, respectivamente.

(Mendonça, 2005)

Os elementos de sombreamento pelo exterior têm um grande impacto na imagem do edifício e, como tal, todas as decisões relativas a estes devem ter em consideração a sua boa integração na fachada, de forma a não afectar o aspecto visual da fachada.

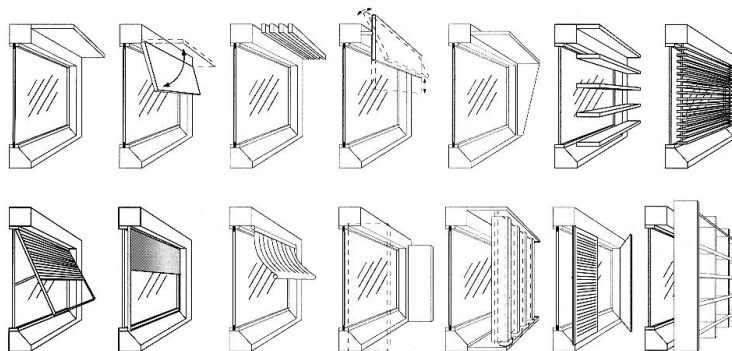


Figura 3.31- Exemplos de sistemas de protecção solar exteriores de janelas.

(Mendonça, 2005)

Para o desenho e a escolha de um tipo de elemento de sombreamento eficaz, é necessário estudar a geometria solar do edifício (*vd.* pág.49), de forma a saber qual a melhor forma de proteger os vãos, tendo em conta os ângulos horizontais e verticais que o Sol faz com o envidraçado. No entanto, o tipo de sombreamento a escolher, depende fundamentalmente da orientação da fachada. No caso do hemisfério Norte a:

- Sul – poderá ser utilizado um elemento do tipo pala, visto que, no Verão, o ângulo da altura do Sol em relação à Terra é de maior dimensão, um elemento deste género será suficiente para bloquear a entrada de radiação directa (Figura 3.32). Para controlar a radiação indirecta ou difusa deverá ser usado um dispositivo de protecção solar (ou vidro reflectante).
- Este – para os vãos localizados no lado a Este será mais eficaz um tipo de protecção vertical opaca ou constituída por lâminas que permitam a visão mas impeçam a entrada de radiação. Isto, porque ao início do dia, o Sol faz um ângulo menor com a Terra e, como tal, as palas horizontais tornam-se ineficazes (Figura 3.33). Geralmente é preferível minimizar a superfície envidraçada.
- Oeste – o sombreamento a Oeste deverá ser feito através de protecção vertical, tal como o dos vãos a Este ou minimizar o envidraçado.

- Norte – no hemisfério Norte, não é necessário colocar elementos de sombreamento nos vãos orientados a Norte. Contudo, existem protecções que podem ser utilizadas nesta orientação para evitar a perda de calor produzido no interior da casa para a situação de Inverno.

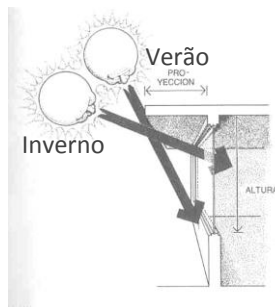


Figura 3.32-Influência do ângulo da altura solar nos envidraçados.

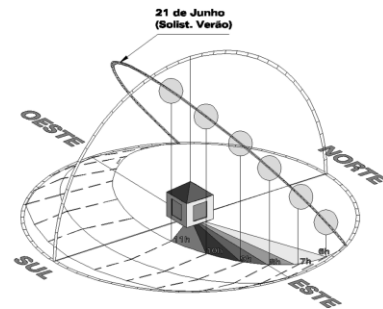


Figura 3.33- Variação da altura do Sol no Verão.

(DGEG, 2004)

3.5.3 Sistemas de Isolamento Térmico

O isolamento térmico das fachadas de um edifício é uma componente muito importante para a sua eficiência energética. Funciona como uma barreira à transmissão térmica por condução através da envolvente opaca, contribuindo para manter o ambiente interior quente no Inverno e fresco no Verão. A utilização deste sistema é essencial para manter o conforto higrotérmico dos ocupantes e evitar consumos energéticos excessivos de climatização.

Isolante térmico é o material de condutibilidade térmica inferior a $0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ e aplicado em camada cuja resistência térmica é igual ou superior a $0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$.

Adaptado de (RCCTE, 2006)

A principal característica dos materiais isolantes é a sua condutibilidade térmica, $\lambda \text{ (W/m} \cdot ^\circ\text{C)}$, muito reduzida. Estes devem apresentar ainda outras propriedades como a não absorção de humidade, resistência mecânica adequada à utilização, resistência ao fogo, ausência de odor e durabilidade, entre outras.

Relativamente ao isolamento térmico dos elementos verticais opacos, surgiram várias inovações em materiais isolantes, uns mais indicados para paredes pesadas e outros para as leves: lãs de rocha e de vidro; poliuretano projectado; poliuretano injectado; poliestireno expandido; poliestireno extrudido; aglomerado negro de cortiça; filme alveolar e aglomerados hidráulicos de fibras de abeto.

O isolante térmico pode ser aplicado pelo exterior, pelo interior ou na caixa-de-ar de paredes duplas. Cada uma destas opções admite ainda diferentes soluções de revestimento.

Para um isolamento térmico eficiente é imprescindível revestir totalmente a superfície em contacto com o exterior a ser isolada. As descontinuidades devem ser evitadas ao máximo, pois representam pontos onde ocorre uma maior transmissão de calor entre o interior e o exterior (pontes térmicas), que criam condições favoráveis ao aparecimento de humidade, para além de aumentarem as necessidades de energia para obtenção de conforto. O isolamento térmico pelo exterior é o único que praticamente elimina as pontes térmicas, sendo considerado, por isso, o mais eficiente em termos térmicos. Não obstante as suas qualidades, este sistema tem algumas limitações que não podem deixar de ser referidas.

QUADRO 3.3- Vantagens e inconvenientes do isolamento térmico exterior em relação ao isolamento interior.

VANTAGENS	INCONVENIENTES
– Protecção das paredes contra agentes atmosféricos – Ausência de descontinuidade na camada isolante – Supressão de “pontes térmicas” e redução dos riscos de condensação – Isolamento térmico mais eficiente – Conservação da inércia térmica das paredes – Manutenção das dimensões dos espaços interiores – Manutenção da ocupação dos edifícios durante as obras – Dispensa de interrupções nas instalações interiores e de trabalhos de reposição de acabamentos – Eventual melhoria do aspecto exterior dos edifícios	– Constrangimentos históricos/arquitectónicos – Constrangimentos de ordem técnica – Custo geralmente mais elevado – Condicionamento dos trabalhos pelo estado do tempo – Condensações superficiais – Risco de fendilhação dos revestimentos (em soluções com revestimentos contínuos)

a) Sistemas de isolamento térmico exterior

A adopção dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior tem vindo a aumentar em diversos países europeus assim como em Portugal, quer na construção nova, quer na reabilitação de fachadas.

Este tipo de sistema surge como uma das melhores soluções para alcançar os requisitos térmicos impostos pelo RCCTE, sendo particularmente favorável nas intervenções de reabilitação, pelo facto dos trabalhos de aplicação do sistema serem realizados sem haver necessidade de utilizar os espaços interiores. O sistema de isolamento térmico pelo exterior:

- Aumenta a durabilidade das fachadas, pois protege-as da acção dos agentes climáticos e atmosféricos, como o choque térmico, água líquida, radiação solar, etc. (Figura 3.34);
- Diminui a probabilidade de ocorrerem condensações interiores, visto que mantém a superfície interior das paredes a uma temperatura superior à de orvalho (limite inferior de temperatura a partir do qual o vapor de água contido no ar passa para o estado líquido);
- Elimina as pontes térmicas (Figura 3.35), reduzindo a transmissão térmica por condução através destas, ao mesmo tempo que evita o aparecimento de condensações;
- Melhora o conforto térmico, porque conserva a inércia térmica interior;
- Conserva a área do espaço interior habitável;
- Não implica a ausência dos ocupantes para ser aplicado e mantido, o que é particularmente vantajoso nos casos de reabilitação;
- Permite a melhoria do aspecto geral da fachada.

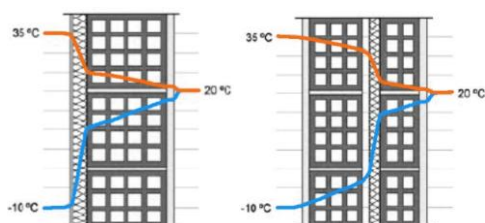


Figura 3.34- Variação térmica respectivamente no caso de isolamento exterior e no de isolamento em caixa-de-ar.

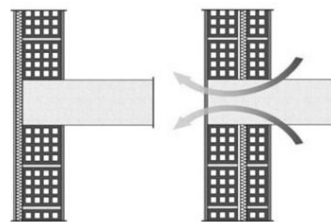
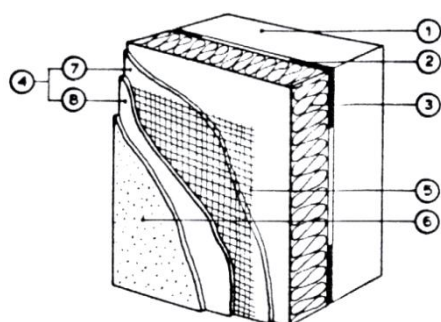


Figura 3.35- PTL respectivamente no caso de isolamento exterior e no de isolamento em caixa-de-ar.

(Freitas V. P., 2002)

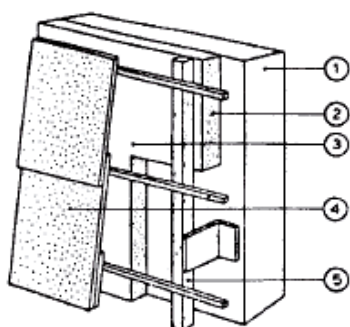
Apesar das suas vantagens, nem sempre é permitido aplicar esta medida em reabilitações, seja, por exemplo, pelo seu carácter arquitectónico ou por motivos de ordem técnica, por isso há que ter em consideração as singularidades de cada caso.

A sua constituição (Figura 3.36, Figura 3.37 e Figura 3.38) baseia-se na aplicação de uma camada de isolamento térmico sobre o suporte (a parede exterior) e de um revestimento exterior para protecção das imposições climáticas e mecânicas. O material isolante utilizado mais correntemente é o poliestireno expandido moldado (EPS). As principais soluções de sistemas de isolamento térmico exterior são as seguintes:



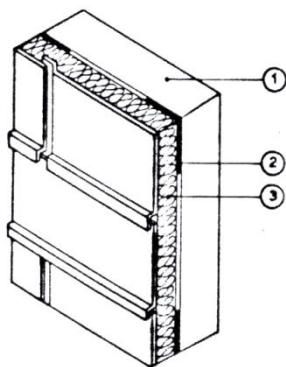
- 1 – Parede exterior
- 2 – Cola
- 3 – Isolante térmico
- 4 – Camada base do revestimento
- 5 – Rede de fibra de vidro
- 6 – Camada do acabamento do revestimento
- 7 – 1ª Demão de camada de base do revestimento
- 8 – 2ª Demão de camada de base do revestimento

Figura 3.36- Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento delgado (ETICS)⁵.



- 1 – Parede exterior
- 2 – Isolante
- 3 – Caixa-de-ar
- 4 – Revestimento
- 5 – Estrutura de suporte do revestimento

Figura 3.37- Isolamento pelo exterior com revestimento independente descontínuo ventilado.



- 1 – Parede exterior
- 2 – Cola
- 3 – Revestimento isolante (com paramento protector)

Figura 3.38 - Sistema de isolamento térmico por elementos descontínuos prefabricados.

Fonte: (DGEG, 2004)

⁵ Sistema vulgarmente designado por ETICS (External Thermal Insulation Composite System)

b) Soluções de isolamento térmico interior

Uma das soluções deste tipo de isolamento mais utilizadas é através da aplicação de painéis isolantes prefabricados de placas de gesso cartonado com uma camada de isolante térmico colada no tardo de estas. Neste tipo de solução existem duas possibilidades de fixação à parede existente, que pode ser feita por colagem ou através de uma estrutura de suporte que pode, ou não, criar uma caixa-de-ar entre o sistema e a parede. A outra solução consiste na execução da contra-fachada em alvenaria leve como isolante junto à parede existente (Figura 3.39).

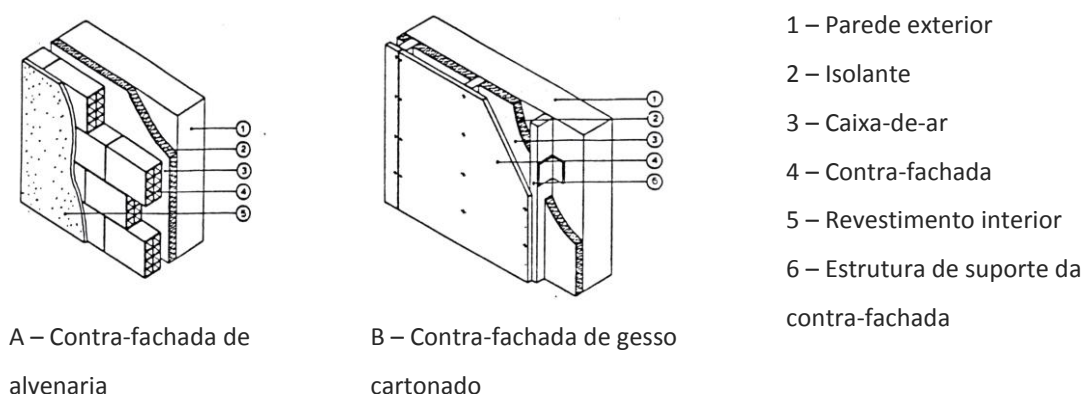


Figura 3.39 Contra-fachada com isolante na caixa-de-ar.

Fonte: (DGEG, 2004)

A aplicação da solução A não requer mão-de-obra especializada, podendo ser atractiva em termos económicos. No entanto, a solução B, consiste numa obra mais limpa e rápida e é favorável à passagem de tubagens e o acesso a estas.

No caso dos painéis pré-fabricados, as vantagens são a rapidez de colocação, porém, no caso de reabilitação, implica o ajuste das instalações existentes.

Os demais inconvenientes do sistema de isolamento térmico interior são os seguintes:

- Não eliminação das pontes térmicas;
- Redução da inércia térmica interior;
- A aplicação e manutenção do isolante no interior da fachada requerem a desocupação do espaço interior habitável;
- Implica uma redução da sua área de pavimento útil.

c) Soluções de isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas

A técnica da parede dupla de alvenaria surge como uma medida de melhoramento do desempenho térmico das fachadas através da existência de uma caixa-de-ar entre as duas paredes. Por sua vez, a aplicação do isolante térmico no interior da parede dupla serve para aumentar esse desempenho térmico.

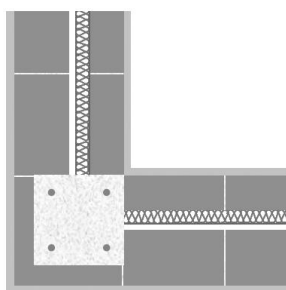


Figura 3.40 – Secção horizontal do sistema de isolamento na caixa-de-ar.

(Freitas, 2005)



Figura 3.41- Exemplo de sistema de isolamento na caixa-de-ar.

(Dow Building Solutions, 2010)

Porém, o isolamento no interior da caixa-de-ar apresenta desvantagens que, hoje em dia, podem e devem ser evitadas:

- Não elimina as pontes térmicas (Figura 3.40);
- É propenso ao aparecimento de condensações que podem danificar os materiais no interior da parede, afectando a sua durabilidade e o seu desempenho térmico;

No caso de reabilitação:

- A injeção de material isolante pode não conseguir um preenchimento total da caixa-de-ar e assim criar pontes térmicas diversas e dispersas;
- Implica desocupação do espaço interior habitável;

3.6 Sistemas Activos

Os sistemas de climatização passivos não conseguem garantir inteiramente as condições de conforto exigidas na nossa época. Ao dependerem das condições climatéricas e em grande parte do Sol, deparam-se com condições exteriores inconstantes, e por esta razão nem sempre têm resposta às exigências impostas. Sendo assim, é inevitável pensar na aplicação de sistemas activos, sejam estes convencionais, solares ou de captação de outro tipo de energia renovável (como eólica), que funcionem como apoio. Quando convencionais, estes sistemas devem funcionar apenas quando é necessário de forma a minimizar o consumo energético.

Os sistemas activos são sistemas de produção de energia integrados no edificado. Os que mais contribuem para a eficiência energética dos edifícios (e sem emissão de GEE) são aqueles que transformam a energia proveniente de fontes renováveis (solar, da biomassa, eólica, geotérmica ou hídrica) em energia final.

Os sistemas activos que podem ser integrados nas fachadas dos edifícios são os colectores solares e os painéis fotovoltaicos, tendo uma atenção especial com a qualidade estética da integração.

Os colectores solares térmicos (Figura 3.42 e Figura 3.43) transformam a radiação solar absorvida (directa e/ou difusa) em calor, o qual é distribuído através de água ou ar (fluidos). Existem diferentes tipos de colectores (planos, cilíndricos, concentradores, campos de espelhos), sendo o plano o mais utilizado em edifícios (residenciais e de serviços). Têm como utilidade principal o aquecimento das águas sanitárias (AQS) e a sua instalação em edifícios é obrigatória de acordo com o disposto no Artigo 7.º do RCCTE.

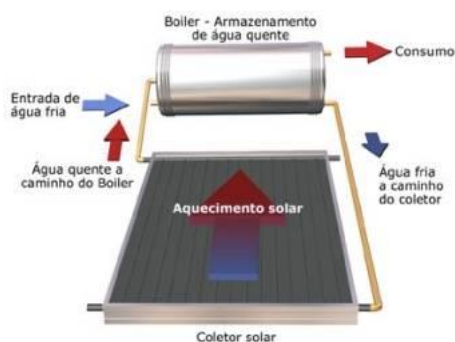


Figura 3.42- Esquema do funcionamento de um colector solar térmico.

Figura 3.43- Exemplo de integração de colector solar térmico numa fachada.

(Energias Renováveis em Portugal, 2010)

(Sotecnisol, 2010)

Os painéis fotovoltaicos (Figura 3.44 e Figura 3.45) são sistemas que convertem a energia solar directamente em electricidade e são compostos por células fotovoltaicas, cujo composto básico é o semi-condutor silício. O seu grau de eficiência é sensível à intensidade da radiação solar e à temperatura do ar, sendo os painéis compostos por células de silício monocristalino os mais eficientes, porém mais caros e difíceis de fabricar. A solução com células de silício policristalino acaba por ser uma solução mais económica, sem que a sua eficiência seja muito mais baixa do que a outra opção (Mendonça, 2005).



Figura 3.44- Integração de painéis fotovoltaicos em cobertura plana.

(Sotecnisol, 2010)



Figura 3.45- Integração de painéis fotovoltaicos em fachada.

(Solaris, 2006)



Figura 3.46- Células fotovoltaicas em cobertura de vidro.

(Schüco)

Recentes inovações apresentam soluções de integração de sistemas activos que têm, simultaneamente, um efeito passivo. Um exemplo é a integração de células fotovoltaicas em envidraçados com boa exposição solar (Figura 3.46), em que esta fusão de sistemas traz benefícios acrescidos quando comparado com a utilização convencional não integrada. Isto, porque funciona de forma activa, ao gerar energia, e de forma passiva, na medida em que restringe os ganhos solares para evitar o sobreaquecimento.

3.7 Em síntese

A reabilitação das fachadas existentes, sobretudo as construídas antes da entrada em vigor da regulamentação térmica para os edifícios, conduz a uma redução do consumo energético global dos edifícios. Como tal, atenua as consequências do paradigma de desenvolvimento insustentável que se tem vivido, contribuindo para a sustentabilidade em geral, num contexto de exigência progressivamente maior, tendo em conta a crise ambiental, social e económica.

Para além de melhorar a eficiência energética do edifício, a reabilitação das fachadas permite a correcção de patologias, o aumento da durabilidade dos elementos construtivos e a alteração do aspecto visual. O grande desafio da arquitectura está em encontrar soluções que assentem no equilíbrio entre os valores da eficiência energética e os valores da arquitectura.

As estratégias para melhorar o desempenho passivo das fachadas passam pelo reforço da sua resistência térmica, pela implementação de sistemas solares passivos, nomeadamente no que diz respeito ao controlo dos ganhos solares, e pela diminuição das infiltrações de ar.

No final, as soluções construtivas utilizadas nas fachadas deverão satisfazer, da melhor forma possível, os aspectos relacionados com a função, a estética, os requisitos dos ocupantes, os custos ambiental e económico e, simultaneamente, minimizar os consumos energéticos durante a utilização. Para isso, é fundamental que a fachada seja considerada como uma interface entre o ambiente interior e as energias naturais, cujo desempenho depende principalmente da sua relação com o clima e com o ocupante.

4 CASO DE ESTUDO E A FACHADA ACTUAL

O edifício em estudo foi construído antes da entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo do Decreto-Lei nº40/90, de 6 de Fevereiro e, por isso, a envolvente do edifício tem uma eficiência térmica muito insatisfatória. Este foi o primeiro regulamento em Portugal a exigir “a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão”.

Desde a sua construção até à actualidade, o hotel não sofreu qualquer reabilitação ao nível da envolvente, havendo queixas de desconforto térmico e de consumo excessivo de energia para climatização, o que indicia que a envolvente deste edifício tenha um desempenho energético insatisfatório.

O desempenho térmico das fachadas representa um relevante contributo para a eficiência energética dos edifícios, tendo adquirido grande importância na concepção e reabilitação de edifícios devido à necessidade de minimizar o consumo de energia. O aumento do grau de exigência dos regulamentos existentes reflecte essa mesma necessidade (em Portugal existe, desde 1990, o Regulamento de Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), que foi actualizado em 2006, pelo Decreto-Lei n.º80/2006).

4.1 O Hotel

4.1.1 Tipo de Estabelecimento

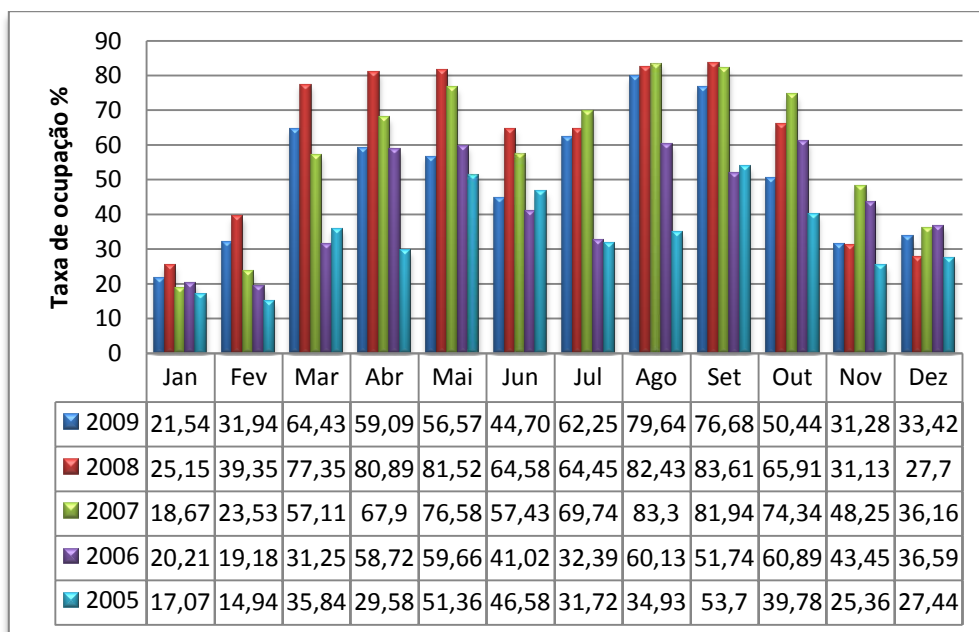
O Amazónia Lisboa Hotel é um estabelecimento de três estrelas, que se situa no coração da cidade de Lisboa, perto da Praça Marquês de Pombal. Este estabelecimento hoteleiro faz parte da cadeia Amazónia Hotéis, constituída por mais dois hotéis, o Amazónia Jamor e o Amazónia Estoril Hotel e uma unidade de apartamentos turísticos, o Amazónia Palmela – todos estes de quatro estrelas.

Desde a sua inauguração, em Maio de 1990, tem mantido a sua actividade e conquistado continuamente a preferência dos seus hóspedes, essencialmente pessoas que vêm para visitar a cidade ou que viajam em negócios. A sua estadia é de curta duração (2 a 6 dias) e, de acordo com os padrões de referência de utilização fixados no anexo XV do RSECE, a sua ocupação diária concentra-se no período entre as 20h e as 8h.

Como é possível observar no QUADRO 4.1, os últimos cinco anos demonstram um crescimento da taxa de ocupação mensal, sendo que o ano de 2009 apresenta uma quebra relativamente aos dois anos anteriores, que se deve sobretudo à grave crise económica que se tem vivido.

O mais importante a reter, no âmbito deste estudo, é o período (ou períodos) em que a taxa de ocupação é mais elevada, de forma a saber quando é menos conveniente a realização de obras.

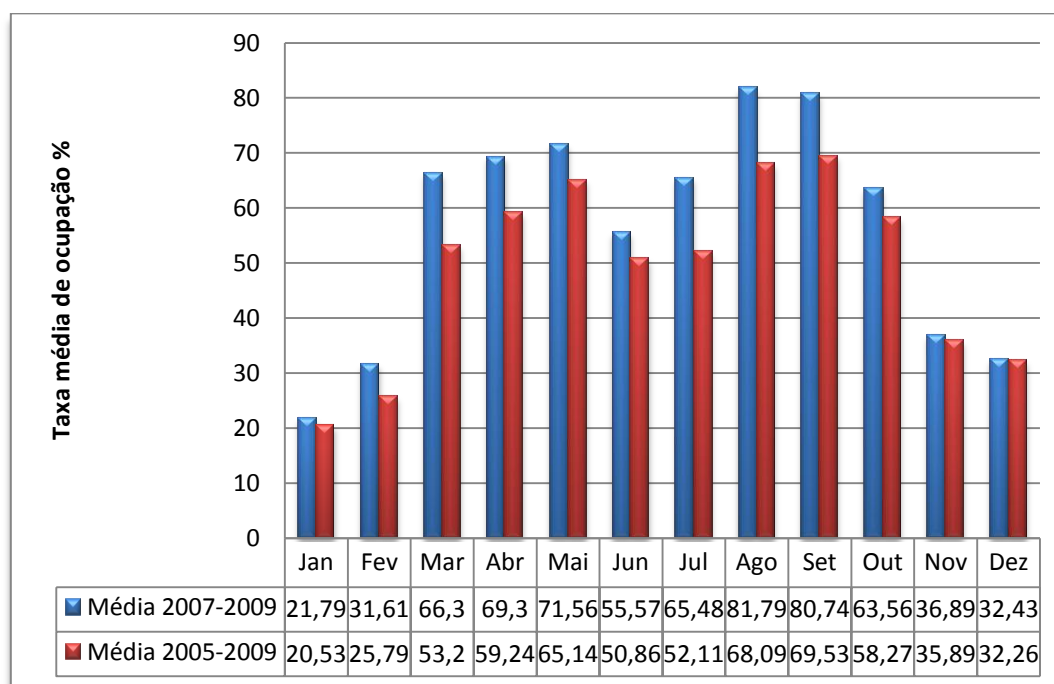
QUADRO 4.1- Variação da taxa de ocupação mensal de 2005 a 2009.



Para visualizar melhor esses períodos, foi feita a média das taxas mensais dos últimos cinco e três anos (QUADRO 4.2), concluindo que se tratam de dois períodos com elevada taxa de ocupação: de Março a Maio e de Agosto a Setembro.

Foram utilizadas estas duas médias, porque a taxa de ocupação de um estabelecimento hoteleiro é influenciável pelo contexto social, económico, ambiental assim como pela promoção do destino ou pela ocorrência de eventos importantes. Por exemplo, a taxa de ocupação pode sofrer um decréscimo devido a instabilidades políticas, a crises económicas, a catástrofes climáticas e pode ser afectada pela falta de promoção do destino turístico. Por outro lado, pode aumentar, caso a situação económica seja favorável, ocorra um evento importante a nível internacional ou o destino seja fortemente promovido. Como tal, é aconselhável ter o conhecimento destes contextos, aquando da análise da taxa de ocupação de um hotel, para que não ocorram enganos nas respectivas previsões.

QUADRO 4.2- Variação da taxa média de ocupação mensal em 2005-2009 e 2007-2009.



4.1.2 Localização e Clima

O edifício em estudo situa-se na cidade de Lisboa (38°N 9°W), a capital mais ocidental da Europa. A cidade de Lisboa localiza-se junto ao grande estuário do rio Tejo, que desagua no Oceano Atlântico, e sua altitude varia entre os 6 m e os 226 m (Monsanto).

O clima de Portugal sofre três tipos de influência - atlântica, continental e mediterrânica. Como se pode verificar na Figura 4.1 e na Figura 4.2, na região Sul as temperaturas médias são mais elevadas e a precipitação mais baixa do que na região Norte.

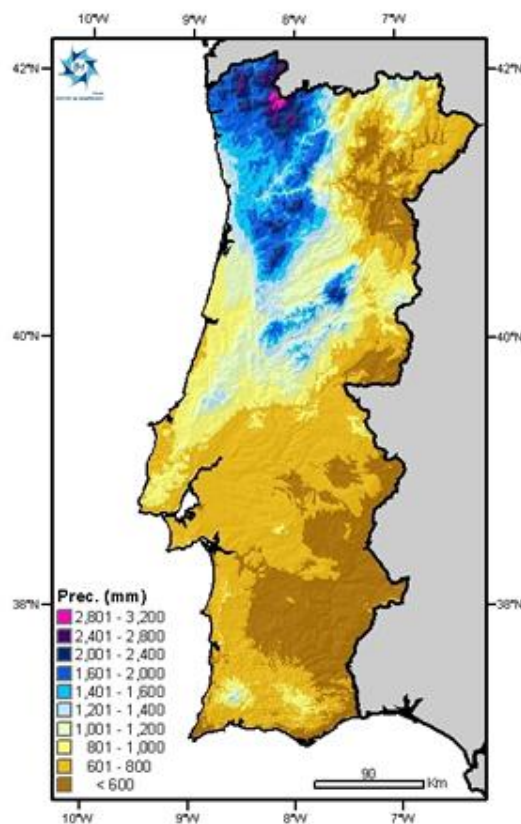


Figura 4.1- Precipitação média anual (mm)

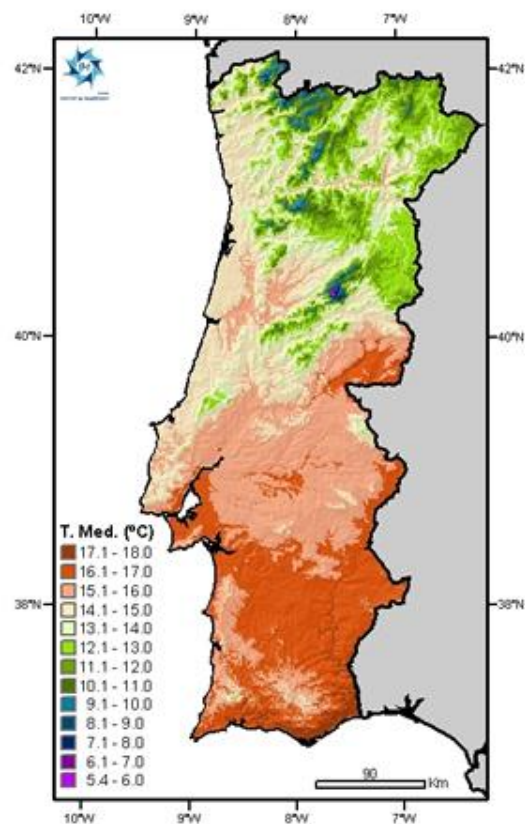


Figura 4.2- Temperatura média anual (°C)

Fonte: Instituto de Meteorologia, IP Portugal

Segundo a classificação de Köppen⁶, a região Norte tem um clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente (Csb), enquanto a região sul tem um Inverno também chuvoso, mas com Verão seco e quente (Csa). De acordo com esta classificação, Lisboa está inserida na metade a sul, sendo o seu clima considerado temperado mediterrânico.

⁶ Disponível em www.meteo.pt/pt/areaeducativa/otempo.eoclima/clima.pt/index.html. [18.09.2010]

A cidade de Lisboa tem um Inverno curto com temperaturas amenas, isto é, as temperaturas médias mensais raramente são inferiores a 11°C, e o Verão caracteriza-se por ser longo e quente. A amplitude térmica anual⁷ é pouco acentuada, porém, Lisboa confronta-se com grandes amplitudes térmicas diárias, geralmente na Primavera e Outono, estações características por dias quentes e noites frescas. Embora o clima de Lisboa seja considerado um clima com temperaturas amenas, a temperatura máxima pode atingir os 40°C e a mínima pode chegar a temperaturas negativas. A humidade relativa média anual de Lisboa é de 73%, sendo que a precipitação é irregular, concentrando-se nos meses de Outono e de Inverno.

Com base no RCCTE, os dados importantes para este caso de estudo são os seguintes:

QUADRO 4.3- Dados climáticos de referência para o caso de estudo.

Concelho	Zona Climática de Inverno	Número de graus-dia (GD)
Lisboa	I1	1190

Fonte: (RCCTE, 2006)

⁷ Diferença entre a temperatura média do mês mais quente e a temperatura média do mês mais frio.

4.1.3 Forma e Orientação Solar

Factor de Forma

A forma de um edifício é um dos factores que tem influência sobre sua eficiência energética. Para contribuir positivamente para a eficiência energética, este deve ter uma relação Superfície⁸/Volume (S/V) o menor possível, pois quanto menor a área da superfície da envolvente exterior em relação ao volume, menor é a área onde ocorrem os fluxos energéticos entre o interior e o exterior e menores são os fluxos.

Por exemplo, na Figura 4.3: $A_1=A_2$ e, tendo em conta que a altura é igual, $V_1=V_2$. No entanto, $S_1<S_2$, logo $S_1/V < S_2/V$, tendo o primeiro caso um factor de forma preferível ao do segundo.

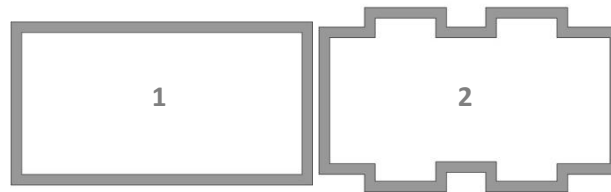


Figura 4.3 - Duas áreas equivalentes com factores de forma distintos.

A figura seguinte permite observar, que uma das fachadas (a principal) tem uma superfície “recortada”, o que significa que a sua alteração, no sentido de torná-la plana, pode contribuir para a eficiência energética do edifício.

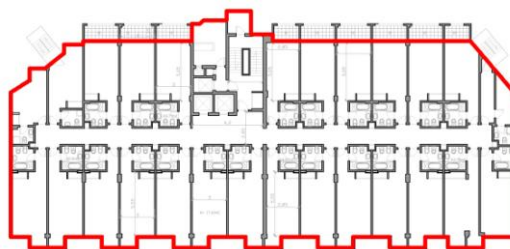


Figura 4.4- Desenvolvimento linear da superfície envolvente exterior.

⁸ Superfície em contacto com o exterior ou locais interiores não aquecidos.

Orientação solar

O hotel encontra-se inserido num quarteirão em que as suas fachadas têm a orientação Noroeste/Sudeste (Figura 4.5), encontrando-se a fachada principal orientada a Noroeste. A orientação da fachada posterior e o facto de não existir obstrução à exposição solar (Figura 4.6) pode ser favorável ao aproveitamento dos ganhos solares, no Inverno, aspecto que deve ser analisado através do estudo da geometria solar.

A fachada posterior é composta por varandas alinhadas com o pano de alvenaria da fachada (Figura 4.12) e com vista sobre a piscina situada no terraço do hotel, beneficiando do sombreamento conferido pelas próprias varandas, muito vantajoso no Verão. Já a fachada principal tem maiores necessidades de aquecimento, pois devido à sua orientação a Noroeste, não tem incidência solar no Inverno.



Figura 4.5 - Implantação do edifício.



Figura 4.6 - Vista aérea da fachada posterior.

Fonte: Bing Maps. Disponível em <http://www.bing.com/maps/>.

4.2 Caracterização da solução existente

A definição das medidas de melhoria do desempenho térmico (reabilitação energética) das fachadas de um edifício requer o prévio conhecimento das características da solução existente assim como dos aspectos influentes no seu comportamento térmico.

O estudo da solução existente é realizado através da caracterização dos seguintes parâmetros:

- Elementos verticais opacos (coef. de transmissão térmica, patologias);
- Elementos verticais não opacos (coef. de transmissão térmica, protecção solar);
- Aspecto visual (estado de conservação, imagem do estabelecimento).

No caso das fachadas, a sua contribuição para o desempenho térmico expressa-se através do coeficiente de transmissão térmica U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) dos diferentes elementos da fachada (área opaca, área envidraçada). Este coeficiente caracteriza o comportamento térmico de cada solução construtiva, sendo indispensável para o cálculo das perdas através da envolvente exterior dos edifícios.

4.2.1 Elementos verticais opacos

O edifício em estudo tem uma estrutura do tipo pórtico, isto é, uma estrutura constituída por pilares, vigas e lajes em betão armado. As fachadas opacas são em alvenaria não portante de tijolo furado de barro vermelho com 0,20m de espessura. O seu revestimento, em argamassa de reboco, é aderente e tem 0,025m de espessura de acabamento rugoso do tipo *roscone* em toda fachada, excepto no piso térreo e o primeiro piso da fachada principal, que são revestidos com cantaria de moleanos (pedra calcária). As paredes deste edifício não são dotadas de isolamento térmico nem acústico.

Neste edifício, é possível encontrar quatro paredes com características diferentes. Para facilitar a referência às diferentes paredes, foram atribuídos códigos a cada fracção da fachada correspondente.

- F1: fracção da fachada principal entre o piso térreo e o primeiro;
- F2: fracção da fachada principal entre o segundo e o oitavo piso;
- F3: fracção da fachada posterior entre o primeiro e o oitavo piso;
- P4: parede alinhada com as varandas (não tem influência na transmissão térmica por condução para o interior);



Figura 4.7- Fracções F1 e F2 na fachada principal.



Figura 4.8- Fracções F3 e P4 na fachada posterior.

A parede P4 não tem implicações na transmissão de calor por condução entre o exterior e o interior e, não estando inserida no contexto deste trabalho, não será incluída neste estudo.

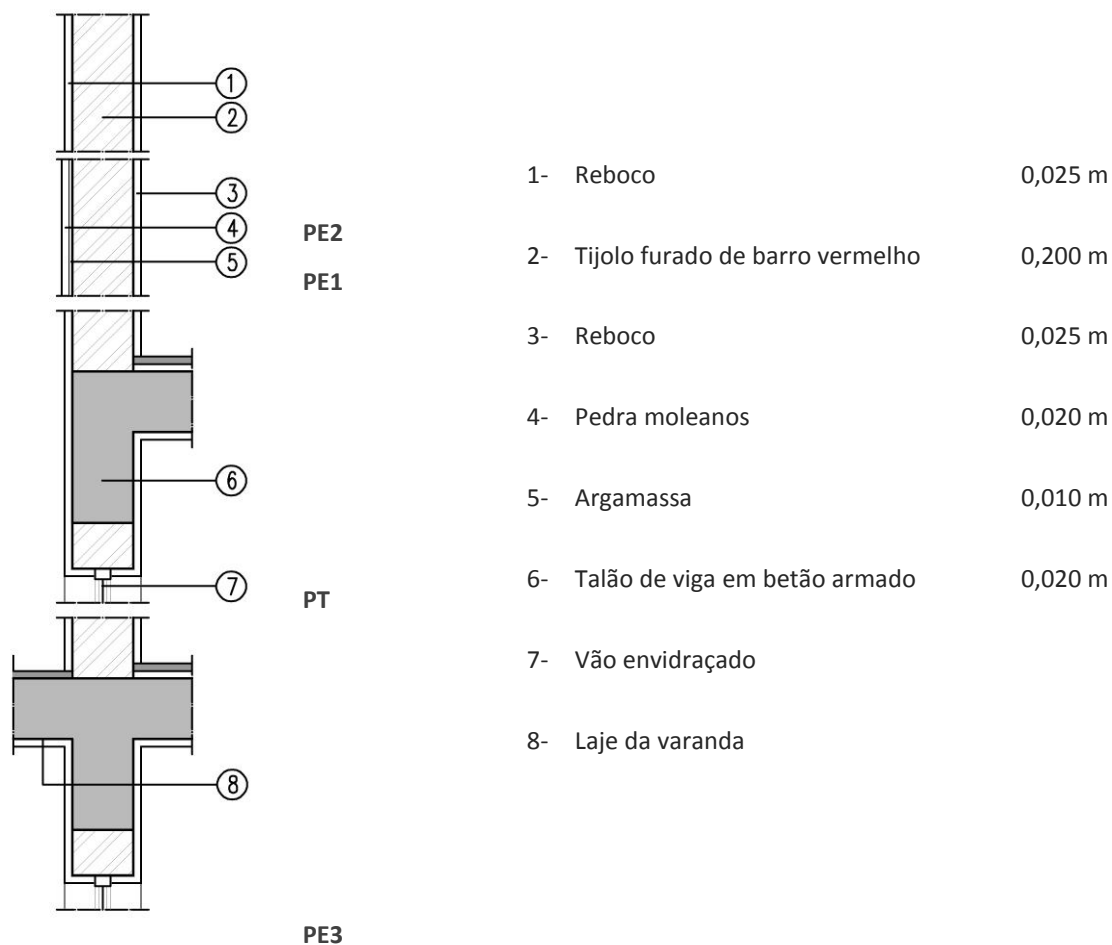


Figura 4.9- Pormenores construtivos da zona opaca.

Características térmicas

A publicação do LNEC, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios* (ITE 50), inclui os valores das resistências e condutibilidades térmicas dos materiais com utilização mais comum e alguns coeficientes de transmissão térmica para algumas soluções convencionais. O coeficiente U de PE1 e das pontes térmicas foram calculados através das resistências térmicas (ANEXO III) e os de PE2 e PE3 constam no quadro II.1 da ITE 50.

Fracção	1	2	3
PE	1,26	1,30	1,30
PT	3,30	3,24	3,24

Estado de conservação

As paredes exteriores, construídas há mais de vinte anos, encontram-se desprotegidas contra as variáveis climáticas desde então, sendo que apresentam algumas patologias, como fissurações, manchas resultantes de humidade excessiva e infiltrações, conferindo ao hotel um aspecto descuidado e degradado e afectando o seu desempenho térmico.

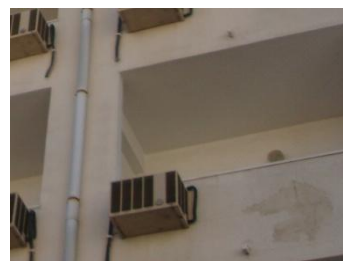
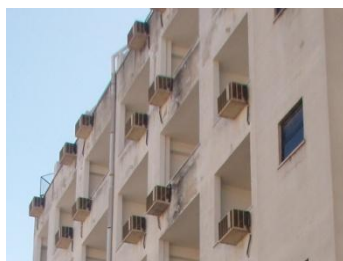


Figura 4.10- Exemplo das patologias encontradas nas fachadas.

4.2.2 Elementos verticais não opacos

Na fachada principal, os vãos envidraçados são simples (uma janela), de correr, com vidro simples (uma folha) e caixilho metálico, mais precisamente em alumínio. O mesmo ocorre na fachada posterior, mas em vez de janelas encontram-se portas de correr, que possibilitam o acesso a uma varanda por quarto. São as varandas que conferem a protecção solar dos envidraçados nessa fachada (Figura 4.11 e Figura 4.12).



Figura 4.11 – Vãos envidraçados da fachada principal.



Figura 4.12 – Vão envidraçado da fachada posterior.

Características térmicas

De acordo com a publicação do LNEC (ITE 50), o sistema de vãos envidraçados existente tem um coeficiente de transmissão térmica $U = 5,20 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$.

Geometria Solar

O contributo dos vãos envidraçados para o conforto nos espaços interiores depende não só das suas características físicas mas também da sua relação com a radiação solar directa. Para perceber o grau de influência que o Sol tem neste edifício recorreu-se ao estudo da geometria solar.

O estudo da geometria solar do edifício do Amazônia Lisboa Hotel foi realizado com base nas cartas solares dispostas em anexo (Figura I. 1 e Figura I. 2). A aplicação deste estudo ao edifício em questão encontra-se exposta nas figuras seguintes.

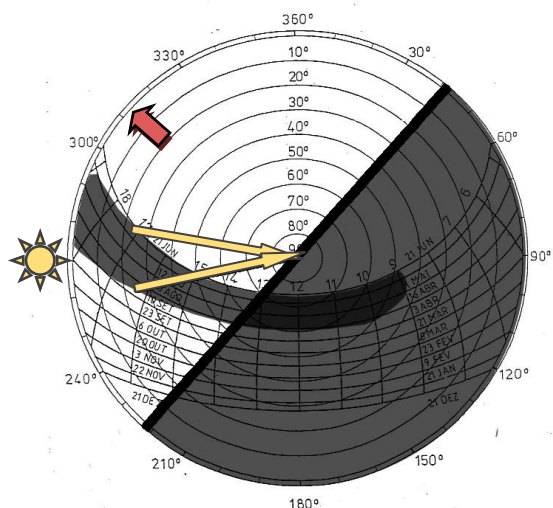


Figura 4.13- Estudo da geometria solar para a fachada principal orientada a NO.

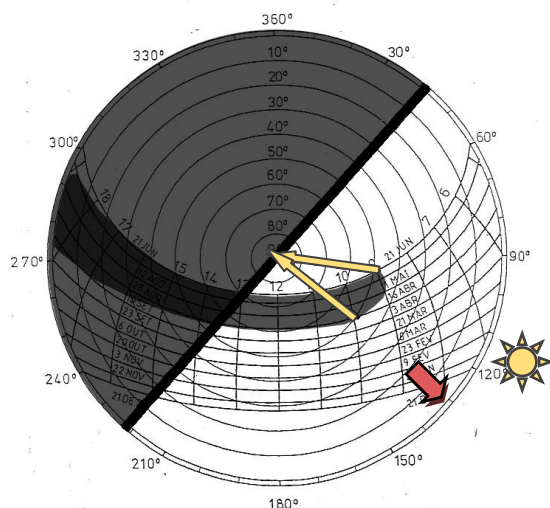


Figura 4.14- Estudo da geometria solar para a fachada posterior orientada a SE.

A linha a preto que divide a carta solar em dois semi-círculos representa o desenvolvimento linear de ambas as fachadas (já que estas são paralelas entre si), apontando a seta a vermelho a orientação de cada uma. Na carta foi incluída a zona de desconforto solar para a cidade de Lisboa (Cunha, 2005), representada por uma mancha sobre o período do ano e do dia em que é provável que possa ser provocado o desconforto (sobreaquecimento). As setas a amarelo indicam o momento em que o Sol deixa de afectar a fachada do edifício, nos limites da zona de desconforto.

Aproximadamente, o período mais desfavorável em termos de radiação solar para a fachada principal (Figura 4.13) ocorre sensivelmente de meados de Abril a meados de Setembro e dura cerca de duas horas e meia por dia (entre as 14h e as 17h), pois a partir dos 35° de altura solar o edifício do hotel passa a ser sombreado pelo edifício situado em frente.

Por exemplo, a 12 de Agosto e a 1 de Maio, a fachada principal recebe radiação solar directa a partir de cerca das 14h, em que o Sol tem uma altura de 60° e deixa de receber a radiação por volta das 17h, em que o Sol tem uma altura de 35°.

Quanto à parede exterior da fachada posterior, o período correspondente ao da zona de desconforto solar encontra-se no mesmo intervalo do ano que a fachada principal, contudo apenas pode ser afectada directamente durante menos de uma hora por dia (Figura 4.14), entre as 9h e as 10h, pois a partir dos 50° de altura solar a parede é sombreada pelas próprias varandas.

No Inverno, a fachada principal praticamente não tem radiação solar directa e a posterior tem um período curto apenas de manhã, sendo que não é possível aproveitar a captação de energia solar para o aquecimento passivo dos quartos.

4.2.3 Aspecto visual

Relativamente ao aspecto visual da fachada principal, pode afirmar-se que parece desprovida de personalidade, apresenta uma imagem desactualizada, degradada e descuidada, em que os condensadores do ar condicionado estão visíveis.

O piso térreo e o primeiro piso (F1) estão alinhados com a face dos edifícios adjacentes e o seu revestimento integra-se com o restante aspecto da rua onde o edifício se encontra. A parede dos restantes pisos encontra-se recuada, de forma a não contrastar com os edifícios adjacentes, pois tem uma altura superior a estes. Esta parte da fachada (F2) tem paredes salientes, que se exprimem como elementos verticais, e vãos envidraçados, que se desenvolvem na horizontal (Figura 4.15).

Quanto à fachada posterior (Figura 4.16), também desprovida de personalidade, tem uma presença impositiva e desagradável, igualmente devido ao protagonismo dos condensadores do ar condicionado e devido ao aspecto degradado do pano alinhado com o limite do edifício.



Figura 4.15- Aspecto visual da fachada principal.



Figura 4.16- Aspecto visual da fachada posterior.

4.3 Síntese das características das fachadas do Hotel

Em síntese as fachadas do hotel, compostas por um pano de tijolo furado de 0,20 m, sem isolamento térmico e com um sistema de vãos envidraçados de vidro simples em caixilharia de correr em alumínio, têm um desempenho térmico insatisfatório.

Os elementos opacos da solução existente apresentam um coeficiente de transmissão térmica dentro do limite fixado no RCCTE, contudo é superior (quase o dobro) ao valor de referência, o que resulta em desperdício de energia. Encontram-se, ainda, desprotegidos das agressões exteriores, como as grandes amplitudes térmicas que ocorrem em Lisboa, que originam deterioração da parede, vindo a sua durabilidade reduzida e o seu desempenho térmico comprometido.

Os vãos envidraçados da solução existente apresentam um coeficiente de transmissão térmica superior ao valor referência fixado no regulamento e uma reduzida estanquidade do caixilho, permitindo infiltrações de ar não controladas. O seu fraco desempenho deve-se tanto ao tipo de vidro como à qualidade da caixilharia, o que implica a substituição total deste sistema de vãos.

As fachadas dispõem de mais de vinte anos expostas às agressões exteriores, sem nunca terem sido reabilitadas, apresentando diversas patologias que são claramente visíveis. Não tendo sofrido alterações, o hotel mantém a mesma imagem desde a sua inauguração, que é incaracterística e monótona.

Perante tais circunstâncias, é evidente que este estabelecimento necessita de reabilitar as suas fachadas, de forma a melhorar o seu aspecto visual e o grau de conforto, melhorando o seu desempenho energético⁹ e funcional. Assim, conseguirá uma promoção e projecção mais eficaz da sua imagem e da sua marca.

As respectivas propostas de reabilitação são objecto do capítulo seguinte.

⁹ “Pequenas intervenções de melhoria no isolamento de edifícios podem conduzir a economias energéticas até 30%”(Isolani, 2008).

5 REABILITAÇÃO DAS FACHADAS DO AMAZÓNIA LISBOA HOTEL

Atendendo ao elevado número de soluções e sistemas construtivos disponíveis, para fazer a selecção do mais adequado, é necessário analisar previamente as vantagens e inconvenientes de cada solução, tendo em conta as características da solução existente, os objectivos pretendidos, as prováveis restrições, o tipo de clima e de utilização e a disponibilidade económica.

Assim, o conjunto destes factores constitui a base de selecção das possíveis soluções, dando a conhecer quais os aspectos da solução actual que carecem alteração, que tipo de soluções podem ser aplicadas e como devem ser aplicadas.

A reabilitação das fachadas do Amazónia Lisboa Hotel tem como principal objectivo a renovação do aspecto visual, aproveitando a inclusão de medidas para a obtenção de um melhor desempenho térmico das mesmas. Contudo, a realização de uma obra de reabilitação num estabelecimento hoteleiro tem algumas implicações, que devem ser tidas em conta aquando da selecção das soluções construtivas, tais como o tempo de execução da obra (e o modo como é executada) e a manutenção (frequência e custo da manutenção).

A principal diferença entre a obra num edifício residencial e num estabelecimento hoteleiro é o custo acrescido da obra pelo facto do estabelecimento perder receita, caso seja necessário parar o seu funcionamento. Por esta razão, a obra deve decorrer nos períodos em que estabelecimento tenha uma taxa de ocupação mais baixa, deve ser breve e, se possível, não interferir com o funcionamento do estabelecimento.

5.1 Objectivos e restrições

Os objectivos da reabilitação térmica das fachadas do Amazónia Lisboa Hotel são:

- Melhorar o aspecto visual das fachadas: conferir um aspecto cuidado e conferir carácter/personalidade à fachada, de forma a transmitir uma boa imagem da marca Amazónia Hotéis.
- Reduzir as perdas térmicas: é pretendido proporcionar um maior grau de conforto, reduzindo o consumo energético do edifício;
- $U \leq U_{ref}$: alcançar valores de coeficiente de transmissão térmica iguais ou melhores do que os valores de referência estabelecidos no RCCTE;
- Manter o funcionamento do hotel: evitar a necessidade de acesso da obra pelo interior do edifício e evitar obras “sujas” e demoradas, de forma a não perturbar os hóspedes;
- Manutenção reduzida: não só por este ser um custo fixo do hotel mas também pelo consumo energético que poderá estar associado à realização da manutenção;

É necessário ter ainda em consideração as intenções do dono-de-obra, bem como as imposições ou restrições de ordem técnica, funcional, económica e legal. Estas podem ser as seguintes:

- Exequibilidade da solução: verificar a possibilidade da estrutura suportar tecnicamente as alterações a serem realizadas;
- Execução da obra: deve realizar-se num curto período de tempo e numa altura em que a taxa de ocupação seja reduzida;
- Viabilidade económica;
- Segurança contra incêndio;
- Acústica: para além das vantagens que apresente do ponto de vista energético, a solução escolhida também deve proporcionar condições de conforto acústico;
- Requisitos do dono-de-obra: podem ser os mais variados. Neste caso, passam pelo melhoramento do aspecto visual e pela obtenção de um bom desempenho térmico. O dono-de-obra solicita, ainda, uma solução que não implique elevados custos de investimento e manutenção e, se possível, a passagem de cablagem.

5.2 Medidas propostas

Neste subcapítulo, todas as soluções escolhidas satisfazem os objectivos e requisitos anteriormente descritos. A comparação realizada entre elas refere-se apenas às vantagens que uma solução possa apresentar em relação a outra, que serão expostas com mais detalhe no subcapítulo correspondente a cada solução.

No caso de uma reabilitação, o momento do ciclo de vida dos materiais em que incide a maior atenção é na fase de operação (uso) do edifício. Não obstante, é importante referir que se deve preferir a utilização de materiais reciclados ou recicláveis, cuja produção não englobe elevada carga ambiental e cujo fim de vida não represente a poluição ou a contaminação do ambiente.

O quadro seguinte apresenta as medidas passivas propostas que têm como base as estratégias bioclimáticas expostas no §2.2.

QUADRO 5.1- Síntese das medidas passivas propostas.

ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICAS	MEDIDAS PASSIVAS
Restringir transmissão térmica	Isolamento térmico; Vidro Duplo; Caixilho em PVC
Restringir infiltrações de ar	Caixilho em PVC
Restringir ganhos solares	(F3) Sombreamento através das varandas

5.2.1 Fracção F1

No caso da parede F1, por estar junto à via pública e por ser revestida em cantaria de pedra, propõe-se a aplicação do isolamento térmico pelo interior. Este sistema tem vantagens sobre o isolamento exterior neste caso específico, pois não implica retirar o revestimento de pedra, o que iria custar mais tempo de obra, existindo o risco de danificação das placas de pedra. Além disso, este sistema não envolve a perturbação da via pública.

O sistema de isolamento interior proposto é o sistema com o isolante encostado à parede de suporte, com espaço de ar e fixação a estrutura metálica e revestimento interior de placa de gesso cartonado (Figura 5.1), que permite uma obra limpa e rápida. O espaço de ar, para além de reforçar a resistência térmica da parede, permite a passagem de infra-estruturas e o fácil acesso a elas. Os quartos onde será implementada esta medida têm uma área útil generosa (tratam-se de *suites*) e, como tal, a consequente redução de área não tem impacto significativo.

O material isolante proposto é a lã de rocha (MW) de 4 ou 6 cm. A lã de rocha é adequada especialmente para interiores, pois é incombustível (Euroclasse A1) e, para além do isolamento térmico, proporciona isolamento acústico.

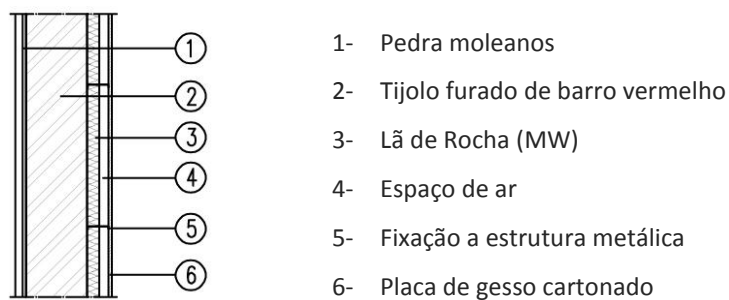


Figura 5.1- Sistema de isolamento interior proposto para F1.

5.2.2 Fracção F2

A forma mais adequada para reduzir as perdas de calor por condução e proteger os materiais da parede exterior consiste na aplicação do isolamento térmico pelo exterior. Como foi explicado no §0, este sistema de isolamento é a solução mais eficaz a nível térmico, protege a parede exterior das solicitações climáticas e mecânicas e conserva a inércia térmica interior, que tanto é vantajosa no clima de Lisboa.

Para revestimento do material isolante foram seleccionados dois tipos de revestimento: revestimento aderente delgado (ETICS- Figura 5.2) e revestimento independente descontínuo ventilado (fachada ventilada - Figura 5.3 e Figura 5.4). As principais vantagens da primeira opção são a facilidade e rapidez de execução, que significam menor custo da intervenção. A segunda, por sua vez, protege melhor a parede das intempéries e evita condensações superficiais, aumentando a sua durabilidade e apresentando soluções de aspecto visual mais diversificadas. A sua execução pode ser mais complexa, porém não é difícil.



Figura 5.2- Aspecto visual de uma fachada com ETICS, em Lisboa.



Figura 5.3- Aspecto visual de fachada ventilada cerâmica de um hotel na Madeira.

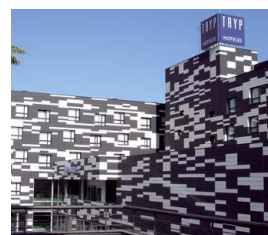


Figura 5.4- Aspecto visual fachada ventilada cerâmica, em Espanha.

(Faveton, 2010)

a) Isolamento Térmico Exterior com Revestimento Aderente

Este sistema, correntemente designado por ETICS, é aplicável ao edifício em estudo, pois possui as características necessárias para responder aos objectivos previamente colocados, sobretudo pela melhoria do desempenho térmico que confere e pela não perturbação do funcionamento do hotel. Este sistema também pode ser aplicado, pois não existem restrições técnicas nem arquitectónicas.

Este sistema é constituído por placas de poliestireno moldado expandido (EPS), fixadas ao suporte (parede exterior existente), revestidas por um reboco delgado, aplicado em várias

camadas, armado com uma ou mais redes de fibra de vidro. Como acabamento é utilizado, geralmente um revestimento plástico espesso.

O EPS é o material isolante indicado para este sistema, pois é flexível o suficiente para evitar fissurações no revestimento, resultantes das dilatações que ocorrem habitualmente.

No âmbito deste trabalho será analisado o contributo deste sistema de isolamento para a redução das perdas térmicas e para a poupança energética com EPS de 4 e de 6 cm de espessura com o fim de perceber as implicações energéticas e económicas, que o material e a diferença de espessura têm na solução escolhida.

A aplicação do sistema ETICS pode ser feita directamente sobre o reboco através de colagem por pontos, fixação mecânica ou ambas. Neste caso, é aconselhável a fixação mecânica com bucha plástica, para que não ocorra desnivelamento das placas (devido à secagem da argamassa).

A forma da fachada principal do edifício em estudo é “recortada”, o que todavia não constitui o impedimento da sua execução, pois os cantos e esquinas são de 90°, tal como o corte das placas de isolante térmico. É igualmente possível cortar as placas a 45°, porém não é aconselhável, pois engloba um potencial de falha do corte muito elevado. O mais aconselhável é mesmo a sobreposição dos topos das placas, que são rematadas com perfis metálicos específicos para a situação (Figura 5.5).

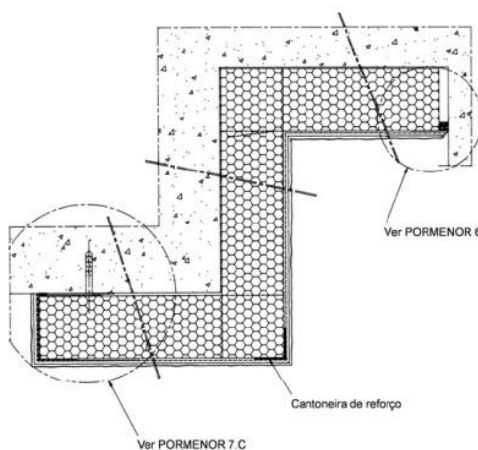


Figura 5.5- Pormenor da aplicação do isolante térmico em esquinas e cantos.

(Freitas V. P., 2002)

b) Isolamento Térmico Exterior com Revestimento Independente

Descontínuo Ventilado

Este sistema consiste na fixação mecânica do revestimento exterior à parede de suporte através de uma estrutura secundária. É deixado um espaço de ar com 0,02m no mínimo (Mateus, 2004) entre o revestimento e o isolante aplicado pelo exterior na parede de suporte. O espaço de ar é ventilado por convecção natural, evitando o aparecimento de humidade e protegendo o isolante térmico das agressões exteriores como as variações das condições climáticas (Figura 5.6).

O material isolante utilizado mais correntemente neste sistema é o poliestireno extrudido (XPS), pois apresenta excelente comportamento à água, alta resistência mecânica, tem estabilidade dimensional e excelente durabilidade, entre outras vantagens (Freitas V. P., 2006). De qualquer modo, serão analisadas as hipóteses de utilização de EPS e Lã de Rocha (MW), dado que, neste trabalho, é pretendido comparar o contributo energético e as implicações económicas das soluções com diferentes isolantes.

A fachada ventilada constitui uma solução muito satisfatória em termos de desempenho térmico: aumenta significativamente a resistência da superfície exterior da parede (de 0,04 para 0,13 $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$), protege a parede da radiação solar directa e permite o arejamento da parede através da ventilação gerada por convecção natural.

Para além do desempenho térmico, melhora o nível de conforto acústico e a sua manutenção é relativamente simples e pouco dispendiosa, pelo facto de ser possível a substituição isolada das placas, sem causar quaisquer perturbações.

Neste tipo de sistema existem várias opções de revestimento: placas metálicas, de fibrocimento, de cerâmica ou até de resinas fenólicas. Para o caso do estudo, são propostas as placas cerâmicas (Figura 5.7), pois são consideradas as que apresentam melhor relação custo/benefício: as placas cerâmicas são leves, resistentes, não exigem manutenção e apresentam várias soluções relativamente ao aspecto visual.

É de grande relevância salientar que a compartimentação da câmara-de-ar com barreiras horizontais e verticais contra a propagação do fogo em caso de incêndio é indispensável.

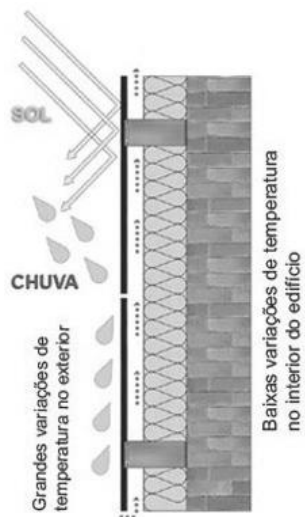


Figura 5.6- Representação esquemática das vantagens do sistema de fachada ventilada.

(Mateus, 2004)



Figura 5.7- Soluções de especto visual do revestimento cerâmico.

(Faveton, 2010)

5.2.3 Fracção F3

Como já foi referido, o sistema de isolamento pelo exterior é o mais eficaz quanto ao desempenho térmico e, dado que não existe nenhuma restrição quanto à sua aplicação na parede F3, é o sistema proposto.

Esta parede é composta por “fragmentos” de parede separados pelas paredes e pavimentos das varandas, sendo inadequada a aplicação de um sistema ventilado. Para além disso, o custo global (material, mão-de-obra, perturbação do funcionamento do hotel) do sistema de fachada ventilada é superior ao do sistema ETICS e sendo que se trata da fachada posterior, que não tem tanta relevância em termos de aspecto visual, o sistema proposto é o ETICS.

As varandas obrigam a interrupção da camada isolante (Figura 5.8), todavia sem afectar significativamente o isolamento térmico, visto que esta ligação representa uma área de perda térmica reduzida comparativamente à área de toda a zona opaca a isolar.

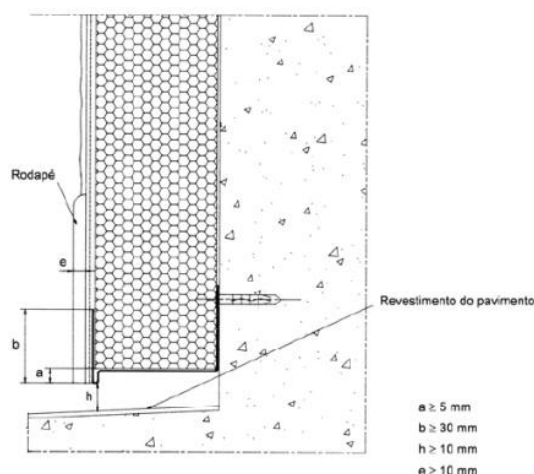


Figura 5.8- Arranque do isolante térmico a partir do pavimento de uma varanda.

(Freitas V. P., 2002)

5.2.4 Sistema de Vãos Envidraçados

É proposto o sistema com vidro duplo e caixilharia em PVC, pois tem um desempenho térmico e acústico muito satisfatório, a sua manutenção é reduzida e apresenta uma relação custo/benefício atractiva, sendo visivelmente a solução mais utilizada na generalidade dos edifícios.

Para além do desempenho térmico, o PVC é uma boa escolha pela sua reduzida carga ambiental, não só devido à sua durabilidade mas também pelo facto de ser reciclável, não representando resíduo, quer no final da sua vida útil, quer na sua produção, onde as sobras dos cortes também são recicladas.

A substituição dos vãos envidraçados existentes pelo sistema de vãos envidraçados proposto é designada V.(1).

O sistema de vãos envidraçados proposto tem um coeficiente de transmissão térmica de $2,90 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (Santos & Matias, 2006).

Para a parede F2, propõe-se ainda a solução com o mesmo sistema de envidraçado, mas com alteração da área dos vãos, isto é, propõe-se o encerramento dos vãos recuados e a ampliação dos vãos no plano mais avançado (Figura 5.9 e Figura 5.10).

Esta alteração deve-se a motivos arquitectónicos de resultado formal da fachada e é designada V2.(2).



Figura 5.9 - Vãos envidraçados da solução existente - V2.



Figura 5.10- Proposta de alteração dos vãos envidraçados - V2.(2).

Esta alteração não tem implicações relativamente às características térmicas do envidraçado, mas influencia o seu contributo térmico, como se pode observar no QUADRO 5.6.

Segundo o estudo da geometria solar do edifício, os vãos envidraçados da fachada principal são afectados pela radiação solar directa no Verão, o que origina o sobreaquecimento nos quartos dessa ala. Dada a orientação solar, o ângulo horizontal do Sol com o plano da fachada varia entre os 26° e os 51° (Figura 5.11) no momento em que a altura solar é menor, sendo o sistema de protecção solar vertical, o mais indicado. No entanto, esse tipo de sistema pode ser desfavorável para a relação visual do hóspede com o exterior, limitando o seu ângulo de visão sobre a rua.

Para solucionar este problema é possível desenvolver um sistema de protecção solar que não afecte a visibilidade do hóspede, utilizar protecção solar pelo interior e/ou utilizar vidros reflectantes, mas tal não será desenvolvido por não se inserir no âmbito deste trabalho. O contributo do envidraçado para os ganhos solares não está inserido no contexto deste trabalho, como está explicado em §5.3, sendo que somente o valor do coeficiente de transmissão térmica é aqui considerado.

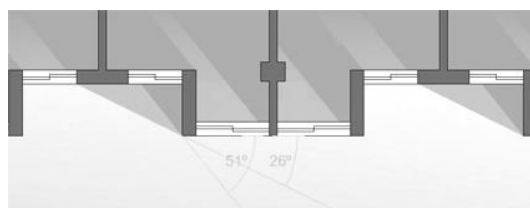


Figura 5.11- Ângulo horizontal do Sol com a fachada principal.

5.3 Contributo energético

De forma a perceber o que significa o contributo energético dos elementos construtivos da fachada, é necessário perceber o contexto em que este se insere.

A avaliação do desempenho térmico é uma tarefa complexa, visto que depende de uma multiplicidade de variáveis, tais como as características dos materiais, a natureza dos ganhos de calor, a sua evolução ao longo do dia e do ano, a disposição das superfícies envolventes, o tipo de utilização, a zona climática, a estação do ano, etc. Como tal, de forma a simplificar os cálculos, foram desenvolvidos diversos modelos matemáticos que, de acordo com o grau de rigor exigido, variam no grau de complexidade. Para o caso de estudo, o modelo de referência utilizado é o modelo de “graus-dias” (para a estação de aquecimento), exposto no RCCTE, o regulamento aplicável ao estudo do comportamento térmico dos edifícios no nosso país. É um modelo de tipo estático, pois considera a temperatura interior um valor constante (20°C), isto é, não considera a sua possível evolução ao longo do dia. As necessidades energéticas são traduzidas pela expressão seguinte:

$$*N_{ic} = (Q_t + Q_v - Q_{gu}) / A_p, (kWh/ano)$$

N_{ic}	necessidades anuais de aquecimento * do edifício;
Q_t	perdas de calor por condução através da envolvente (pavimento, paredes, envidraçados e cobertura);
Q_v	perdas de calor resultantes da renovação do ar;
Q_{gu}	ganhos térmicos úteis resultantes de fontes internas de calor e do aproveitamento da radiação solar;
A_p	área útil de pavimento.

(RCCTE, 2006)

* O estudo é realizado somente para a estação de Aquecimento (Inverno), pelas seguintes razões:

- O RCCTE não possibilita saber o contributo isolado dos elementos das fachadas na estação de Arrefecimento, pois não há formulação, aplicável no âmbito de um trabalho deste

carácter, que permita a consideração individual de um elemento construtivo nesta estação;

- As necessidades de aquecimento são maiores do que as de arrefecimento, o que resulta, essencialmente de dois aspectos: (i) a duração da estação de aquecimento é superior (5,3 meses em comparação com 4 meses de Verão); (ii) a temperatura exterior considerada no Verão, para efeitos das trocas de calor que não incluem os ganhos solares, é o valor médio da estação o que, no caso de Lisboa, corresponde a 23 °C; deste modo, estão a ser consideradas perdas (embora não de forma directa, mas através do cálculo do coeficiente de utilização dos ganhos solares) na medida em que a temperatura de conforto interior considerada é de 25 °C;
- A estação de arrefecimento, segundo o RCCTE, dura apenas um terço do ano, do qual somente dois meses apresentam uma taxa de ocupação acima da média

É importante salientar que as medidas propostas têm em consideração o bom desempenho das fachadas na estação de Arrefecimento, sendo que, apesar de não quantificado, estas medidas originam igualmente uma melhoria do desempenho das fachadas no Verão.

Contributo energético dos elementos construtivos

A presente dissertação pretende analisar o contributo energético das soluções construtivas propostas para reabilitação das fachadas em relação ao contributo da solução actual. A análise do contributo isolado dos elementos construtivos é realizada através do cálculo das perdas de energia por condução através da envolvente dos edifícios (Q_t).

$$Q_t = 0,024 \times U \times A \times GD, (kWh)$$

Q_t	perda energética que ocorre através do elemento t da envolvente exterior
U	coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente exterior
A	área do elemento da envolvente exterior medida pelo interior
GD	número de graus-dias da respectiva zona climática, neste caso I1, GD=1190, na base $T_{int} = 20^{\circ}C$

(RCCTE, 2006)

Desta equação, é visível que o desempenho térmico de um elemento da envolvente depende do coeficiente de transmissão térmica U (vd. 3.3.2). Por exemplo, para uma alteração em que o U passe a metade do U_{actual} , as perdas através desse elemento serão reduzidas para metade. Isto significa que a poupança energética está directamente relacionada com a alteração de U .

É feita, então, a comparação da transmissão térmica de cada elemento (j), bem como das várias combinações possíveis dos mesmos. O cálculo de Q_j permite saber qual a energia necessária para compensar as perdas que ocorrem através de cada elemento das fachadas. Os resultados das soluções propostas serão comparados com a solução existente, obtendo assim um valor de poupança energética.

Sendo que uma intervenção deste carácter implica um investimento a longo prazo, é conveniente ter a noção da relação custo/benefício de cada solução proposta:

As medidas de poupança energética originam consequentemente uma poupança económica. Após o cálculo da perda de energia que ocorre através dos elementos das fachadas (Q_j), procede-se ao cálculo da redução das necessidades energéticas ($Q - Q_j$, em que Q refere-se à solução existente) resultante da aplicação das diferentes soluções e é simulada igualmente a poupança em termos económicos ($C_e - C_{e,j}$). A simulação é feita através do cálculo simplificado da estimativa do custo de energia final (C_e) para compensar as perdas energéticas pela fachada (Q_j).

$$C_e = Q_j \times C_{e,j} / \eta_j, (\text{€})$$

C_e	Custo da energia final (€)
Q_j	Consumo de energia dos elementos ou combinação deles (kWh)
η_j	Eficiência nominal do sistema, neste caso é igual a quatro
$C_{e,j}$	Custo médio da energia eléctrica ¹⁰ (€/kWh)

Sabendo o custo de execução das soluções é possível, então, analisar a relação custo/benefício ou custo/poupança de cada uma delas, obtendo o Período de Retorno Simples (PRS), que é mais um factor determinante para a selecção da solução mais adequada na perspectiva da viabilidade económica.

¹⁰ O custo médio da energia eléctrica foi calculado conforme o disposto no ANEXO II.

$$PRS = \frac{C_j - C_i}{C_{e,i} - C_{e,j}} \text{ (anos)}$$

C_i	Custo inicial da solução base (€)
C_j	Custo da solução para a eficiência energética (€)
$C_{e,i}$	Custo médio da energia final da solução base (€), $\eta=4$
$C_{e,j}$	Custo médio da energia final da solução de reabilitação (€), $\eta=4$

O custo inicial da solução base representa o custo que o Hotel iria ter de qualquer forma para reabilitar as fachadas sem medidas a aplicação de isolamento térmico, enquanto o custo da solução para a eficiência energética inclui a aplicação dessa medida. A diferença do custo de energia final das duas soluções representa o efeito resultante da aplicação das medidas para a eficiência energética.

O cálculo de PRS não poder ser considerado como um instrumento rigoroso, pois não inclui factores como, por um lado, a taxa de inflação, a taxa de juros, o aumento do custo da energia e até a durabilidade e manutenção de cada solução. Por outro lado, também não contabiliza o aumento de receita proveniente do aumento da qualidade do estabelecimento¹¹.

Este cálculo serve, então, como um ponto de análise para ter a noção da lógica associada ao investimento e não para ter um valor exacto ou real do Período de Retorno de Investimento, sendo que os **resultados são meramente indicativos**.

¹¹ No caso da reabilitação do Amazônia Estoril Hotel, observou-se um aumento da receita em cerca de 50%, após a remodelação total do estabelecimento.

5.4 Apresentação de Resultados

Para eleger a melhor solução entre uma variedade de alternativas possíveis, é necessário estabelecer a prioridade das necessidades, dos objectivos e dos desejos do dono de obra e do arquitecto, bem como saber quais as restrições para a realização da reabilitação das fachadas do edifício em questão.

Os principais critérios, sob os quais as soluções foram analisadas, são os seguintes:

- Consumo energético¹² (poupança energética e económica)
- Custo de execução (viabilidade económica indicativa da intervenção - PRS)
- Aspecto visual (diversidade de hipóteses de acabamento)

Os coeficientes de transmissão térmica para os cálculos realizados neste estudo foram retirados da publicação do LNEC, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios* (ITE 50), tendo sido alguns calculados de acordo com o exposto no Anexo III, onde também estão expostos os cálculos completos para alguns elementos da solução existente, bem como das soluções propostas.

Os custos dos materiais isolantes, bem como da execução de obra, foram obtidos através de fonte informal.

¹² A poupança energética ($Q-Q_j$) é directamente proporcional à poupança económica ($C_e-C_{e,j}$), por isso as soluções propostas contribuem simultaneamente para a redução do consumo de energia e para a redução da factura energética.

5.4.1 Soluções Existentes F1, F2, F3

No quadro seguinte faz-se a comparação dos coeficientes de transmissão térmica¹³ dos elementos das soluções existentes com os valores contidos no RCCTE.

QUADRO 5.2- Coeficientes de transmissão térmica (U) dos elementos das fachadas e os valores máximos respectivos fixados no RCCTE para a zona climática I1.

Elemento	U	U _{ref}	U _{max}
PE1	1,26	0,70	1,80
PT1	3,30	-	<2,52*
PE2	1,30	0,70	1,80
PT2	3,24	-	<2,60*
PE3	1,30	0,70	1,80
PT3	3,24	-	<2,60*
VE(1/2/3)	5,20	4,30	-

PE1: parede exterior da fachada principal entre o piso térreo e o primeiro piso;

PT1: ponte térmica plana correspondente à fracção F1;

PE2: parede exterior da fachada principal entre o segundo e o oitavo piso;

PT2: ponte térmica plana correspondente à fracção F2;

PE3: parede exterior da fachada posterior entre o primeiro e o oitavo piso;

PT3: ponte térmica plana correspondente à fracção F3;

VE: vãos envidraçados (têm a mesma característica térmica nas duas fachadas);

* U_{max} de PT tem de ser menor que o dobro do U da zona corrente (PE).

¹³ Anexo III.

De acordo com o RCCTE (QUADRO 5.2), a zona corrente opaca da solução actual encontra-se dentro da conformidade por apresentarem valores inferiores aos valores máximos permitidos, para a respectiva zona climática. Porém, estes valores não são satisfatórios quando se procura maior eficiência energética, dado que, actualmente com a tecnologia disponível, é possível obter valores muito mais reduzidos do que os valores máximos. Além disso, o coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas transpõe o limite máximo imposto. Os vãos envidraçados ultrapassam o valor de referência, sendo esta uma razão adicional para a sua substituição.

No QUADRO 5.3, encontram-se os valores das perdas energéticas ocorrentes pelos elementos das fachadas do Amazónia Lisboa Hotel, bem como o custo de energia final associado.

QUADRO 5.3- Perdas energéticas e custo de energia final de F1, F2 e F3 existentes.

Fracção	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	Q (kW.h)	Ce (η _f =4) (€)
PE1	133,32	1,26	4814,45	87,98
PT1	15,91	3,30	1501,43	27,44
V1	52,75	5,20	7834,01	143,17
F1	201,98	-	14149,89	258,59

PE2	478,68	1,30	17772,39	324,79
PT2	106,59	3,24	9869,01	180,36
V2	261,80	5,20	38880,44	710,54
F2	847,07	-	66521,85	1215,69

PE3	599,18	1,30	22246,43	406,55
PT3	87,88	3,24	8136,68	148,70
V3	210,34	5,20	31238,01	507,87
F3	897,40	-	61621,12	1126,13

5.4.2 Resultados para F1

Solução	Descrição
M4/6:	Sistema de Isolamento Interior com MW de 4 ou 6 cm
V1.(1):	Sistema de vãos envidraçados com vidro duplo e caixilho em PVC.

QUADRO 5.4- Contributo energético das soluções propostas para F1.

Isolamento Interior	U (W/m ² .°C)	Q-Q _j (kW.h)	Ce-Ce _j (η _j =4)	Redução
F1		14149,89	258,59	
PE1.M4	0,76	1920,66	35,10	
PT1.M4	0,91	1090,19	19,92	
V1.(1)	2,90	3465,04	63,32	
F1.M4		6475,90	118,35	46%
PE1.M6	0,66	2301,42	42,06	
PT1.M6	0,74	1163,63	21,27	
V1.(1)	2,90	3465,04	63,32	
F1.M6		6475,90	126,65	49%

De acordo com o QUADRO 5.4, a solução de isolamento interior com lã de rocha de 6 cm (F1.M6) é aquela que mais contribui para a redução do consumo energético devido a perdas térmicas pela fachada. Esta é também a solução mais cara apresentando um PRS superior a 14 anos (QUADRO 5.5).

QUADRO 5.5- Período de Retorno Simples da solução proposta para F1.

Solução	Preço (€/m ²)	Custo (€)	Poupança (€)	PRS (anos)
F1.M4	4,51	601,27	55,02	10,93
F1.M6	6,94	925,24	63,32	14,61

NOTA: O preço refere-se ao material isolante;

Custo = Preço x Área (a isolar);

Poupança = Ce – Ce_j resultante da aplicação do sistema de isolamento.

5.4.3 Resultados para F2

Solução	Descrição
E4/6:	Sistema de Isolamento Exterior com EPS de 4 ou 6 cm com Revestimento Aderente.
VE4/6	Sistema de Isolamento Exterior com EPS de 4 ou 6 cm com Revestimento Ventilado.
VX4/6:	Sistema de Isolamento Exterior com XPS de 4 ou 6 cm com Revestimento Ventilado.
VM4/6	Sistema de Isolamento Exterior com MW de 4 ou 6 cm com Revestimento Ventilado.
V2.(1):	Sistema de vãos envidraçados com vidro duplo e caixilho em PVC.
V2.(2):	Sistema de vãos envidraçados com vidro duplo e caixilho em PVC para a configuração (2).
__. (2):	Sistema E, X, M, VE, VX ou VM após alteração V2.(2).

QUADRO 5.6- Contributo energético das soluções propostas para F2.

Soluções	Q-Q _j (kW.h)	Ce-Ce _j (η _j =4)	Redução
F2	66521,85	1215,69	
F2.E4	34596,34	632,25	52%
F2.E6	37010,36	676,36	56%
F2.E4(2)	36266,07	662,76	55%
F2.E6(2)	38773,65	708,59	58%
F2.VE4	34060,83	622,46	51%
F2.VE6	36269,23	662,82	55%
F2.VX4	34452,28	629,62	52%
F2.VX6	36638,44	669,57	55%
F2.VM4	34060,83	622,46	51%
F2.VM6	36269,23	662,82	55%
F2.VE4(2)	35694,57	652,32	54%
F2.VE6(2)	37989,35	694,26	57%
F2.VX4(2)	36100,42	659,74	54%
F2.VX6(2)	38372,95	701,27	58%
F2.VM4(2)	35694,57	652,32	54%
F2.VM6(2)	37989,35	694,26	57%

O QUADRO 5.6 apresenta os resultados de poupança energética e económica das soluções para a fracção F2 (os resultados por elemento encontram-se no Anexo iii).

As soluções que contribuem mais para a redução do consumo energético são:

- F2.E6(2): ETICS com 6 cm de EPS e com alteração dos vãos;
- F2.VX6(2): Fachada Ventilada com 6 cm de XPS e com alteração dos vãos.

Para a hipótese em que não ocorra a alteração dos vãos, a que mais contribui para a redução do consumo energético é a F2.E6, sendo que as outras soluções têm um contributo muito semelhante a esta.

Com base no QUADRO 5.7, o sistema F2.VX6(2) é o mais caro, apresentando um PRS muito desfavorável, enquanto que o F2.E6(2), sendo mais barato, tem um PRS de cerca de metade do primeiro. Já a solução F2.E6 apresenta um PRS significativamente mais favorável.

QUADRO 5.7- Período de Retorno Simples das soluções para F2 e F2.(2).

Solução	Preço (€/m ²)	Custo (€)	Poupança (€)	PRS (anos)
F2.E4	3,10	2599,69	317,97	8,18
F2.E6	4,65	3899,54	362,09	10,77
F2.E4.(2)	3,10	9646,96	310,34	31,08
F2.E6.(2)	4,65	10985,86	356,17	30,84
F2.VE4	3,10	2599,69	308,18	8,44
F2.VE6	4,65	3899,54	348,54	11,19
F2.VX4	13,13	11010,95	315,34	34,92
F2.VX6	18,18	15245,93	355,29	42,91
F2.VM4	4,51	3782,13	308,18	12,27
F2.VM6	6,94	5819,95	348,54	16,70
F2.VE4(2)	3,10	9646,96	299,90	32,17
F2.VE6(2)	4,65	10985,86	341,84	32,14
F2.VX4(2)	13,13	18310,97	307,31	59,58
F2.VX6(2)	18,18	22673,21	348,85	65,00
F2.VM4(2)	4,51	10864,93	299,90	36,23
F2.VM6(2)	6,94	12963,99	341,84	37,92

NOTA: O preço refere-se ao material isolante;

Custo = Preço x Área (a isolar) (+ Custo da alteração dos vãos);

Poupança = Ce – Ce,j. resultante da aplicação do sistema de isolamento

5.4.4 Resultados para F3

Solução	Descrição
E4/6:	Sistema de Isolamento Exterior com EPS de 4 ou 6 cm com Revestimento Aderente
V3.(1):	Sistema de vãos envidraçados com vidro duplo e caixilho em PVC.

QUADRO 5.8- Contributo energético das soluções propostas para F3.

Solução	U (W/m ² .°C)	Q-Q _j (kW.h)	Ce-Ce _j (η _j =4)	Redução
ETICS				
Total 3		61621,12	1126,13	
PE3.E4	0,58	12321,10	225,17	
PT3.E4	0,76	6229,72	113,85	
V3.(1)	2,90	13816,81	252,50	
F3.E4		32367,63	591,52	53%
PE3.E6	0,45	14545,74	265,82	
PT3.E6	0,55	6754,72	123,44	
V3.(1)	2,90	13816,81	252,50	
F3.E6		35117,28	641,77	57%

Tal como no caso de F1, apenas é proposto um sistema de isolamento exterior, neste caso o ETICS, em que a comparação é realizada então pela espessura do EPS. Sendo assim, a solução com EPS de 6 cm é a mais eficiente em termos energéticos (QUADRO 5.8).

QUADRO 5.9- Período de Retorno Simples das soluções para F3.

Solução	Preço (€/m ²)	Custo (€)	Poupança (€)	PRS (anos)
F3.E4	3,10	2477,40	339,02	7,31
F3.E6	4,65	3716,09	389,27	9,55

NOTA: O preço refere-se ao material isolante;

Custo = Preço x Área (a isolar) (+ Custo da alteração dos vãos);

Poupança = Ce – Ce_j, resultante da aplicação do sistema de isolamento

Quanto à relação custo/poupança, segundo o cálculo simplificado do período de retorno, a solução mais eficiente energeticamente (F3.E6) é a que tem um PRS mais longo. Contudo, a diferença do PRS entre as duas soluções não é significativo.

6 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

6.1 Energia, Viabilidade e Aspecto Visual

Do ponto de vista energético, quando são comparados dois sistemas iguais com o mesmo material isolante, é evidente que tem melhor desempenho térmico, aquele cujo isolante térmico tem maior espessura, pois oferece uma resistência térmica maior. Por esta razão, as soluções que mais contribuem para a redução do consumo energético são aquelas em que o isolante tem 6 cm de espessura.

Quanto à comparação dos sistemas (tendo a mesma espessura do mesmo material isolante), apesar da fachada ventilada ter $R_{se} = R_{si}$, a solução ETICS continua a ser a que apresenta um coeficiente de transmissão térmica menor. Mesmo comparando a solução ETICS (com EPS) com a Fachada Ventilada com XPS (que tem λ menor do que o EPS), a primeira solução permite uma maior poupança energética do que a segunda, embora a diferença, no caso de F2, seja muito estreita. Isto acontece devido às perdas que ocorrem através da fixação metálica e também pelo facto de terem uma parcela em comum que permanece inalterada (V2), isto é: relativamente ao elemento existente PE2 (parede exterior), a solução de ETICS (PE2.E4) conduz a uma redução de **55%** das perdas e a ventilada com XPS (PE2.VX4) conduz a uma redução de **53%**. Porém, em termos de solução, $E4 = PE2.E4 + PT2.E4 + V2.(1)$ conduz a uma redução de **52%** e a solução $VX4 = PE2.VX4 + PT2.VX4 + V2.(1)$, a uma redução de **51%**.

Como tal, as soluções mais eficientes são a E6 e a VX6. Ainda assim, a maior poupança energética é conseguida através das mesmas soluções, mas com a alteração dos vãos envidraçados, E6.(2) e VX6.(2), devido à contribuição acrescida pela redução da dimensão da área envidraçada.

Porém, **do ponto de vista económico**, o investimento numa solução com um isolante de espessura maior ou, como no caso da alteração V2.(2), com uma área envidraçada menor, pode não ser compensatório devido ao elevado custo de investimento. A melhor solução é, então, aquela que apresentar melhor relação custo/poupança (isto é, o menor Período de Retorno de Simples).

O cálculo do PRS demonstra que não existe uma diferença significativa entre a aplicação do isolante com 4 cm e do com 6 cm, dentro do mesmo sistema: o custo da obra não depende da espessura do isolante, mantendo-se igual, sendo o custo do material, o que altera o custo

global da intervenção e, em contrapartida, a solução que utiliza o isolante de maior espessura permite uma maior poupança, compensando possivelmente o investimento.

Já entre a solução de sistemas, entre o ETICS e o de fachada ventilada, a diferença do custo é mais significativa, pois no segundo caso o custo de obra é bastante mais elevado (cerca do dobro). No entanto, o cálculo de PRS, neste trabalho, serve apenas para comparar os materiais isolantes e as suas espessuras.

Todavia existe um factor intangível, mas decisivo na escolha da solução para a reabilitação do Hotel: o aspecto visual (sobretudo da fachada principal). Este factor é muito relevante, na medida em que deste decorre o aumento de receita, maior ou menor, derivado da projecção da imagem do Hotel, como aconteceu no caso da reabilitação do Amazónia Estoril Hotel, mencionado no §5.3.

Do ponto de vista do aspecto visual, apenas podem ser discutidas as soluções para F2, visto que para F1 e F3 não existem diferentes possibilidades de aspecto visual:

- F1: Tendo em consideração a necessidade de obtenção de um melhor desempenho energético das fachadas e devido às limitações de tempo de execução de obra e viabilidade económica, foi proposta para F1 uma solução que não implica alteração do aspecto visual exterior dessa fracção da fachada principal. Não obstante, admite-se a necessidade de uma reconsideração da solução existente numa fase posterior.
- F3: Relativamente ao aspecto da fracção F3, o acabamento do sistema ETICS consiste na aplicação de tinta sobre o reboco armado. Neste caso, é possível a escolha da cor da tinta, sem restrições, pois esta fachada não é significativamente afectada pela radiação solar. Existe igualmente a possibilidade de combinar diferentes cores, já que se tratam de fragmentos de parede separados pelos vãos das varandas (Figura 6.1).



Figura 6.1- Exemplo de pintura com cores diferentes na Fachada Posterior.

Como tal, somente a fracção F2 envolve soluções com diferentes aspectos visuais, passíveis de discussão. Entre as soluções analisadas, é evidente que a solução com revestimento independente descontínuo ventilado (fachada ventilada) é a solução que apresenta mais hipóteses relativamente ao aspecto visual. Este sistema permite a escolha de uma ou mais cores a combinar, permite ainda a escolha da dimensão das placas e possibilita a combinação de peças de diferentes tamanhos (Figura 6.2). É possível a remoção e inserção individual de peças, sendo facilitada a alteração de aspecto visual, quando assim for desejado.



Figura 6.2- Exemplo da diversidade de soluções relativamente ao aspecto visual da fachada ventilada cerâmica.

(Faveton, 2010)

A alteração V2.(2) (Figura 6.4) confere carácter à fachada principal (Figura 6.3) e, também, a possibilidade de utilizar as reentrâncias para a passagem de calhas técnicas e para efeitos formais, como por exemplo através da utilização de chapas metálicas perfuradas ou barras cerâmicas (Figura 6.5 e Figura 6.6), o que pode funcionar muito bem em termos de projecção de imagem do Hotel.

As soluções que incluem a alteração da área envidraçada são também as melhores em termos energéticos, mas são mais caras e implicam a desocupação dos quartos.



Figura 6.3 - Vãos envidraçados da solução existente.



Figura 6.4- Proposta de alteração dos vãos envidraçados (2).



Figura 6.5- Exemplos de possibilidades decorativas para as reentrâncias da fachada principal.



Figura 6.6- Exemplos de soluções possíveis para as reentrâncias da fachada principal.

Através da ponderação dos factores influentes na decisão da solução para a reabilitação do Amazónia Lisboa Hotel, obtém-se a matriz seguinte:

QUADRO 6.1- Matriz de satisfação dos principais critérios de escolha.

Soluções	Poupança (2X)	Viabilidade (1X)	Aspecto (2X)	Ponderação
F1.M4	+	++	+	6
F1.M6	++	++	+	8
F2.E4	+	++	-	2
F2.E6	++	++	-	4
F2.V.E4	+	+	+	5
F2.V.E6	++	+	+	7
F2.V.X4	+	+	+	5
F2.V.X6	++	+	+	7
F2.V.M4	+	+	+	5
F2.V.M6	++	+	+	7
F2.E4(2)	+	+	+	5
F2.E6(2)	++	+	+	7
F2.VE4(2)	+	--	++	4
F2.VE6(2)	++	--	++	6
F2.VX4(2)	+	--	++	4
F2.VX6(2)	++	--	++	6
F2.VM4(2)	+	--	++	4
F2.VM6(2)	++	--	++	6
F3.E4	+	++	+	6
F3.E6	++	++	+	8
++ muito satisfatório	+ satisfatório	- insatisfatório	-- muito insatisfatório	
7-8	6	4-5	2	

De acordo com a ponderação dos critérios, as soluções mais adequadas para a reabilitação do Hotel são, no caso de F1 e F3, as com maior espessura de isolamento. Para a fracção F2, a mais adequada é o sistema de fachada ventilada.

6.2 Outros critérios

F1

De acordo com a poupança energética e com a pequena diferença de PRS entre F1.M4 e F1.M6, a escolha mais lógica seria a segunda opção. No entanto, esta implica uma maior redução da área útil dos quartos do que a primeira, sendo que cabe ao dono-de-obra avaliar as consequências de tal intervenção.

F2

A solução F2.E6 apresenta-se como uma boa solução em termos de relação custo/poupança, mas torna-se menos interessante devido à sua qualidade formal. Por outro lado, a fachada ventilada constitui uma melhor solução do ponto de vista do aspecto visual e isso influencia muito a escolha da solução, na medida em que é a solução que resultará num maior aumento de receita.

Quanto à escolha do isolante para integrar o sistema de fachada ventilada, o mais adequado é o XPS (F2.VX6 e F2.VX6(2)). Tanto o EPS como a MW exigem maiores cuidados de aplicação no sistema de fachada ventilada, aumentando portanto o potencial de insucesso. A MW tem pior comportamento à água do que o XPS e o EPS não tem estabilidade dimensional suficiente.

O sistema de fachada ventilada reúne as características necessárias para a solução para o caso de estudo: é eficiente na resolução de problemas de isolamento térmico, permite a melhoria da qualidade arquitectónica e a sua execução não causa transtorno significativo no funcionamento do hotel. Para além disso permite a passagem de calhas técnicas.

F3

Sendo que, a diferença de PRS entre F3.E4 e F3.E6 não é significativa e não existem outros inconvenientes, a segunda opção apresenta-se como a melhor solução para F3.

Para além dos critérios analisados, a escolha da solução para a reabilitação depende sobretudo de outro valor intangível, que é o desejo do dono de obra.

7 CONCLUSÕES

Na presente dissertação, foram pesquisados os desafios da reabilitação no sector hoteleiro assim como as especificidades quanto ao seu desempenho energético, tanto imposto pelo regulamento aplicável em vigor (RCCTE) como desejado pela empresa (poupança económica) e, ainda, benéfico para o ambiente (redução das emissões de GEE).

Neste âmbito, foi estudado o contributo da reabilitação das fachadas do Amazónia Lisboa Hotel para a redução do seu consumo energético, através da análise comparativa das características térmicas dos elementos construtivos da solução existente e das soluções propostas.

O estudo foi realizado com base na relação da arquitectura com o clima, orientação solar, assim como com o tipo de utilização do edifício, e a sua capacidade de reduzir as necessidades energéticas do edifício através do desenho arquitectónico, nomeadamente os sistemas passivos.

A análise das características da solução existente, juntamente com a determinação dos objectivos e das limitações das intervenções para a reabilitação, permitiu esboçar as soluções possíveis de serem implementadas no Amazónia Lisboa Hotel. Após a avaliação do seu desempenho energético e viabilidade económica, foram discutidas sob diferentes pontos de vista, admitindo que a escolha da solução adequada não pode assentar apenas na análise da relação desempenho energético / retorno do investimento, mas também do ponto de vista de aspectos intangíveis como a qualidade formal do edifício e o benefício potencial daí resultante, sendo que a decisão final depende ainda da vontade do dono-de-obra.

Considerações finais

Ao longo destas últimas quatro décadas tem-se procurado reduzir a dependência do consumo de energias fósseis, tanto devido à sua escassez e subida de preços como pelo impacte ambiental negativo que este consumo tem globalmente, a provocação de alterações climáticas com consequências catastróficas.

O investimento em tecnologias e medidas para a redução do consumo de energias fósseis representa um importante contributo para a sustentabilidade do nosso planeta: diminui a dependência das energias fósseis; reduz a emissão de GEE, preservando o ambiente; melhora a qualidade de vida das populações.

Globalmente, foram criadas organizações, instituições, assim como acordos políticos entre governos e programas para reduzir o impacto das actividades realizadas pelo ser humano, sendo a promoção da eficiência energética dos edifícios uma das estratégias principais. Sendo muito dependente da importação de energia, Portugal (onde grande parte da energia consumida se deve aos edifícios) tem um interesse especial em promover a redução do seu consumo energético. A promoção é feita por vários meios, entre os quais, incentivos fiscais para quem adoptar medidas que contribuam para a eficiência energética assim como através da existência de regulamentação (RCCTE, RSECE).

Os edifícios consomem energia essencialmente para AQS, climatização e iluminação. A necessidade de climatização e de iluminação é influenciada pela Arquitectura, que desempenha assim um papel fundamental na eficiência energética dos edifícios, em particular através das fachadas. A solução arquitectónica das fachadas, através da sua constituição, forma, orientação e dimensão de área envidraçada, influencia o grau de conforto sentido no ambiente interior, que, por sua vez, determina uma parte significativa da necessidade energética do edifício.

Num estabelecimento hoteleiro, o consumo de electricidade deve-se aos equipamentos electrónicos e electrodomésticos, à iluminação e à climatização dos quartos e espaços comuns.

A climatização dos quartos é controlada individualmente pelos hóspedes e é utilizada sem contenção pela maioria deles, pois não implica um custo acrescido na sua estadia. Assim, a melhoria das condições de conforto é essencial no desempenho energético do hotel.

Actualmente, a adopção de medidas para a eficiência energética não só traz proveito pela poupança que origina mas também pelo valor competitivo que confere. A tendência dos estabelecimentos hoteleiros é para a adopção dessas medidas e a sua publicação, para que os hóspedes tomem conhecimento e tenham preferência por esses estabelecimentos. As publicações referem, no entanto, medidas relativamente ao uso de equipamentos eficientes, iluminação eficiente, etc., mas não referem a importância da solução arquitectónica, havendo falta de documentação sobre a reabilitação de fachadas de hotéis do ponto de vista energético. Geralmente, neste âmbito, foca-se o aspecto visual, por isso o estudo foi baseado em documentação para a generalidade dos edifícios.

Grande parte dos edifícios existentes em Portugal foi construída antes da existência do RCCTE, apresentando uma qualidade térmica insatisfatória, sobretudo devido à inexistência de isolamento térmico e ao baixo desempenho dos sistemas de vãos envidraçados. A reabilitação energética destes edifícios permite melhorar a qualidade térmica e funcional dos edifícios, aumentando as condições de conforto dos seus ocupantes. O aumento do grau de conforto dos ocupantes pode reduzir o consumo energético para cerca de metade do consumo corrente, contribuindo simultaneamente para o objectivo estratégico de redução da dependência energética do nosso país.

Obter conforto de forma passiva num espaço interior só é possível através do equilíbrio entre o clima local, o tipo de utilização do espaço e as características construtivas da envolvente. Quando este equilíbrio não é conseguido, geralmente recorre-se à climatização artificial através de equipamentos consumidores de energia. Quanto melhor for a adequabilidade das soluções construtivas ao clima local e à utilização do respectivo espaço, menores são as necessidades energéticas para obter conforto, ou seja, melhor é o desempenho térmico das soluções. Para determinar se o desempenho térmico é satisfatório, os valores das características térmicas dos elementos das fachadas têm de se encontrar dentro dos limites impostos no regulamento.

Existe não só a possibilidade de reduzir o consumo através de sistemas passivos mas também a de produzir energia a partir de sistemas activos com recurso a fontes renováveis integrados na envolvente do edifício. Da combinação destes dois sistemas pode resultar um edifício com consumo “zero” e com “zero” emissões de GEE, os chamados NZEB (net zero energy buildings), que produzem tanta ou mais energia quanto a que consomem (valores médios anuais). Esta é a tendência actual, mas ainda difícil de aplicar em Portugal devido às dificuldades económicas.

Características do caso de estudo

O edifício escolhido para estudo, tendo sido construído anteriormente à entrada em vigor do RCCTE, apresenta um desempenho térmico das fachadas insatisfatório, sobretudo devido à inexistência de isolamento térmico e devido ao sistema de vãos envidraçados, composto por vidro simples em caixilharia de correr de alumínio. Sendo composto por paredes simples, permitiu uma análise mais centrada daqueles que são os resultados directamente relacionados com a adopção de medidas para a eficiência energética. A simples aplicação do sistema de isolamento térmico pelo exterior e a substituição dos sistemas de vãos envidraçados por

sistemas de vidro duplo e caixilharia em PVC conduz a uma melhoria significativa do desempenho energético das fachadas, contribuindo para a eficiência energética do edifício.

O facto de se tratar de um estabelecimento hoteleiro limita o leque de soluções possíveis por dois factores muito importantes para o seu funcionamento:

- Obra (tempo de execução da obra e período em que deve ocorrer): certas obras implicam o encerramento ou perturbação do funcionamento do estabelecimento, o que representa custos acrescidos;
- Manutenção das soluções construtivas: esta deve ser reduzida, de forma a não representar um custo fixo elevado, não só pela mão-de-obra mas também pelo custo de energia associado à sua execução, e a não perturbar os clientes durante a sua realização.

Soluções propostas

Para a fracção F1 foi seleccionado como melhor solução o sistema de isolamento interior com espaço de ar e contra-fachada em gesso cartonado. Para F2 foram propostos dois sistemas, um mais viável – ETICS- e outro com melhor classificação quanto ao aspecto visual – Fachada Ventilada Cerâmica. Foi proposto, ainda, a alteração da área envidraçada. Para a fracção F3, assim como na F1, foi proposto apenas um tipo de sistema, neste caso o ETICS.

A análise das soluções foi feita através de métodos simplificados, cujos resultados permitem a análise comparativa das diferentes soluções propostas.

Os valores das características do caso de estudo são os reais e os restantes valores são baseados na informação técnica disposta pelo LNEC e na regulamentação em vigor (RCCTE), sendo os resultados das perdas energéticas fiáveis e adequados aos objectivos.

Quanto à análise indicativa da viabilidade económica, esta é meramente indicativa, pelo que os resultados não podem ser tomados como definitivos. Contudo, estes resultados permitem ter uma noção das implicações económicas das respectivas soluções, sendo útil para este trabalho.

A principal limitação para a reabilitação das fachadas do Amazónia Lisboa Hotel é, sobretudo a viabilidade económica, na qual se inclui o tempo de execução da obra, pois quanto mais tempo a obra demorar, maior é o custo da obra e maior é a perda de receita. Por outro lado, uma solução mais exigente a este nível pode resultar num maior aumento de receita maior do que uma solução mais viável, devido ao aspecto visual, que é muito importante num Hotel.

Compete, assim, ao dono-de-obra equilibrar o seu esforço inicial (investimento) com os proveitos prováveis decorrentes da intervenção e escolher uma solução.

Deste estudo conclui-se, que:

É necessário apostar na mudança de paradigma do consumo e da forma de construir em geral e continuar a investir em soluções de reabilitação do edificado para a eficiência energética, em particular no sector hoteleiro;

Os regulamentos e valores de referência devem ser actualizados constantemente conforme os materiais e as tecnologias vão evoluindo e conforme as necessidades;

Os principais consumidores de energia devem ser os mais responsabilizados e devem ter assim o dever acrescido de responder à necessidade de redução desse consumo.

Referências bibliográficas

ACEPE. (Junho de 2010). RCCTE- Caracterização do comportamento térmico dos edifícios. Portugal.

ADENE. (Setembro de 2010). Obtido em 10 de Setembro de 2010, de ADENE - Agência para a Energia: <http://www.adene.pt>

APA. (Setembro de 2010). Obtido em 10 de Setembro de 2010, de Agência Portuguesa do Ambiente: <http://www.apambiente.pt>

Caixiave. (2008). *Soluções PVC*. Obtido em 24 de 08 de 2010, de Caixiave Group: <http://www.caixiave.pt/>

Câmara Municipal de Cascais. (Novembro de 2006). *eco-cabana*. Obtido em 08 de Julho de 2010, de Cascais Natura: <http://www.cascaisnatura.org>

Chew, M., & Ping, T. P. (2003). *Staining of Façades*. Singapore: Worl Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Cunha, M. M. (Junho de 2005). *Vãos Envidraçados: optimização do dimensionamento de elementos de protecção solar*. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

DGEG. (Setembro de 2009). *DGEG - Direcção-Geral de Energia e Geologia*. Obtido em 21 de 09 de 2009, de <http://www.dgge.pt/>

DGEG. (2002). *Eficiência Energética nos Edifícios*. Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia.

DGEG. (2004). *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*. Amadora: DGGE / IP-3E.

Diário da República, 1.ª série - N.º 97. (20 de Maio de 2008). Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE).

Diário da República, 1.ª série - N.º162. (23 de Agosto de 2006). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006* . Portugal.

Dow Building Solutions. (2010). *Dow Building Solutions*. Obtido em 15 de Janeiro de 2010, de Dow Building Solutions: <http://building.dow.com>

EDP. (2009). *Tarifa de Média Tensão*. Obtido em 23 de Março de 2010, de EDP Serviço Universal: <http://www.edp.pt>

EEA. (10 de Outubro de 2007). *Europe's environment - The fourth assessment: Chapter 7 Sectors that drive Environmental Change*. Obtido em 19 de Janeiro de 2009, de European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu>

Enerbuilding. (Maio de 2008). *Eficiência energética nos edifícios residenciais*. Lisboa: DECO.

Energias Renováveis em Portugal. (2010). *Os Sistemas Solares Térmicos*. Obtido em 20 de Setembro de 2010, de Energias Renováveis em Portugal: <http://energias-renovaveis.info/>

Evers, B. (2003). Teoria da Arquitectura- do Renascimento aos nossos dias. In V. Biermann, B. Klein, B. Evers, C. Freigang, & A. Grönert, *Teoria da Arquitectura- do Renascimento aos nossos dias* (p. 6). Colónia: TASCHEN.

Faveton. (2010). *FAVETON*. Obtido em 20 de Março de 2010, de Faveton, FACHADA CERAMICA VENTILADA, VENTILATED CERAMIC FACADE, INGENIERIA EN FACHADAS VENTILADAS: <http://www.faveton.com>

Freitas, V. P. (2006). *Isolamento Térmico- aplicação de poliestireno extrudido na envolvente dos edifícios*. Ovar: Iberfibran.

Freitas, V. P. (2002). *Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior*. Porto: Maxit.

Freitas, V. (2007). *Seleção Técnico-Económica da Espessura de Isolantes Térmicos a aplicar na Envolvente Exterior Opaca dos Edifícios*. Porto: IBERFIBRAN, Poliestireno Extrudido, S.A.

Gonçalves, H., & Graça, J. (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Amadora: DGGE / IP-3E.

González, F. J. (2004). *Arquitectura Bioclimática - en un entorno sostenible*. Editorial Munillalera.

Great Buildings. (1997). Obtido em 10 de Julho de 2010, de GreatBuildings: <http://www.greatbuildings.com/gbc.html>

IEA. (25 de Fevereiro de 2009). Solar Heating & Cooling Programme. *SHC Task 40 - ECBCS Annex 52*. International Energy Agency.

INETI. (Dezembro de 2006). *Edifício SOLAR XXI, Um edifício energeticamente eficiente em Portugal*. Lisboa.

Isolani, P. (Maio de 2008). *Eficiência energética nos edifícios residenciais*. Lisboa: DECO.

Janeiro, J. (1997). *Guia Técnico de Hotelaria*. Mem Martins: EDIÇÕES CETOP.

Jodidio, P. (2004). *Architecture Now! 3*. Cologne: TASCHEN GMBH.

Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T. (2007). *Façades - Principles of Construction*. Berlin: Medialis.

Kok, H. W., & Andrews, S. (1989). Construction Issues. In IEA, *Passive and Hybrid Solar Low Energy Buildings*. International Energy Agency.

Leonardo ENERGY. (Novembro de 2008). *Energy Efficiency in Hotels*. Obtido em 11 de Fevereiro de 2010, de Leonardo ENERGY | The Global Community for Sustainable Energy Professionals: <http://www.leonardo-energy.org/>

LiderA. (Setembro de 2010). Obtido em 10 de Setembro de 2010, de LiderA - Sistema de avaliação da sustentabilidade: <http://www.lidera.info>

Lisboa E-Nova. (20 de Maio de 2008). Breve Resumo medidas relevantes para Reabilitação (PNAEE). Lisboa, Portugal.

Lisboa E-Nova. (2005). *Matriz Energética do Concelho de Lisboa*. Lisboa: Lisboa E-Nova - Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa.

Mateus, R. (Março de 2004). *Novas Tecnologias Construtivas com vista à Sustentabilidade da Construção*. Minho, Portugal: Universidade do Minho.

Mendonça, P. (2005). *Habitar sob uma segunda pele*. Guimarães: Universidade do Minho.

Piedade, A. C., Rodrigues, A. M., & Roriz, L. F. (2000). *Climatização de Edifícios: Envolvente e Comportamento Térmico*. Amadora: Orion.

Pinheiro, M. D. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora: Instituto do Ambiente.

Portal das Energias Renováveis. (2009). *Solar - tecnologias passivas*. Obtido em 3 de Março de 2010, de Portal das Energias Renováveis: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=46&ID_area=8&ID_sub_area=26

RCCTE. (4 de Abril de 2006). Decreto-Lei nº.80/2006. *Regulamento das características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Portugal: Diário da República.

RSECE. (4 de Abril de 2006). Decreto-Lei nº.79/2006. *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*. Portugal: Diário da República.

Santos, C. A., & Matias, L. (2006). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Lisboa: LNEC.

Santos, C., & Matias, L. (2006). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Lisboa: LNEC.

SAPA. (2010-2011). *BIPV modules, cells, package / What are Building Integrated Photovoltaics / sapa solar bipv*. Obtido em 11 de Novembro de 2009, de BIPV cells - pv modules, BIPV projects, Building integrated photovoltaics by Sapa Solar: <http://www.sapa-solar.com>

Schüco. (s.d.). *Fachadas sinérgicas - Alumínio - Fachadas - Produtos*. Obtido em 8 de Agosto de 2009, de Schüco - o seu fornecedor de janelas e sistemas solares: <http://www.schueco.com/web/pt/particulares>

Simpson, M., Gössling, S., Scott, D., Hall, C. M., & Gladin, E. (2008). *Climate Change Adaptation and Mitigation in the Tourism Sector: Frameworks, Tools and Practices*. Paris, França: UNEP, University of Oxford, UNWTO, WMO.

Society of Façade Engineering. (2004). *Society of Façade Engineering*. Obtido em 20 de Abril de 2010, de Society of Façade Engineering: <http://www.facadeengineeringsociety.org/>

Solaris. (2006). *Architettura moderna, fotovoltaico in architettura, energie rinnovabili in citta*. Obtido em 20 de Setembro de 2010, de Energie rinnovabili, moduli fotovoltaici, solare termico, lampioni solari, illuminazione a led: <http://www.solaris-ac.it>

Sotecnisol. (2010). *Materiais Construção Civil, Energias Renováveis, Pavimentos, Coberturas*. Obtido em 20 de Setembro de 2010, de Sotecnisol: <http://www.sotecnisol.pt/>

Tirone, L., & Nunes, K. (2007). *Construção Sustentável: soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã*. Sintra: Tirone Nunes SA.

UNEP. (2009). *Resource Efficiency*. Paris, France. Obtido de United nations Environment Programme.

UNFCCC. (Setembro de 2010). Obtido em 10 de Setembro de 2010, de United Nations Framework Convention on Climate Change: <http://unfccc.int/2860.php>

UNWTO. (2009). *From Davos to Copenhagen and Beyond: Advancing Tourism's Response to Climate Change*. World Tourism Organization.

UNWTO. (Setembro de 2010). Obtido em 10 de Setembro de 2010, de Hotel Energy Solutions: <http://www.hotelenergysolutions.net>

UNWTO. (11 de Abril de 2003). *World Tourism Organization (UNWTO)*. Obtido em 10 de Setembro de 2009, de World Tourism Organization (UNWTO): www.unwto.org

UNWTO. (3 de Outubro de 2007). *World Tourism Organization (UNWTO)*. Obtido em 10 de Setembro de 2009, de World Tourism Organization (UNWTO): www.unwto.org

Weber. *Manual técnico weber.therm*.

Wines, J. (2008). *Green Architecture*. Cologne: TASCHEN GmbH.

ANEXOS

I. Cartas Solares

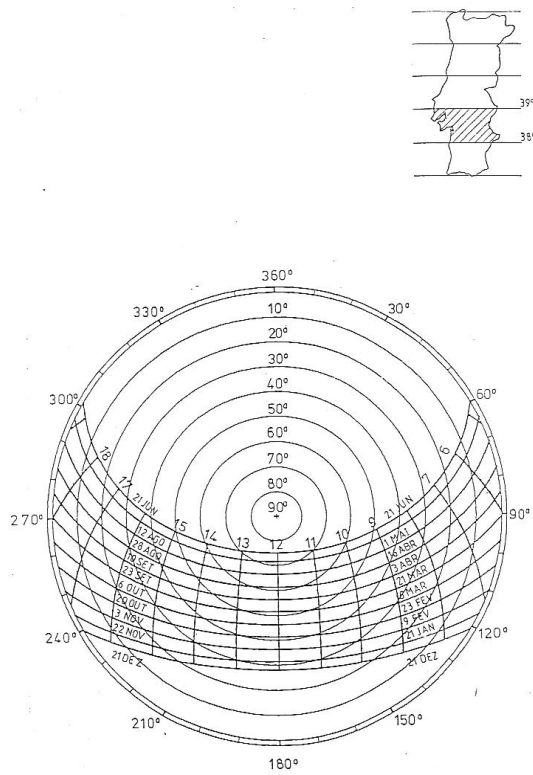


Figura I. 1- Carta solar entre a latitude 38° e 39°

(Cunha, 2005)

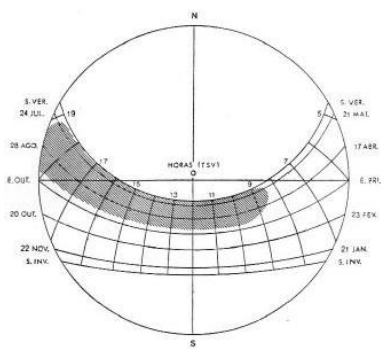


Figura I. 2- Zona de desconforto solar atribuída a Lisboa.

(Cunha, 2005)

II. Custo médio da energia final

O custo de energia final para o Hotel consiste no tarifário de média tensão, que inclui tarifários diferentes de acordo com o trimestre do ano e com a hora do dia (Figura II. 1).

Assim, foi efectuada a média ponderada dos trimestres I, II e IV, pois para efeito do estudo apenas é considerado período de Inverno (estação de Aquecimento).

- Tarifas de Longas utilizações

Período trimestral	Horas de ponta	Horas cheias	Horas de vazio normal	Horas de supervazio
I	0,1058	0,0810	0,0514	0,0481
II	0,1092	0,0833	0,0535	0,0497
III	0,1092	0,0833	0,0535	0,0497
IV	0,1058	0,0810	0,0514	0,0481



Figura II. 1- Tarifário e respectivo horário de Inverno.

(EDP, 2009)

$$I, IV = \frac{4 \times 0,1058 + 10 \times 0,0810 + 6 \times 0,0514 + 4 \times 0,0481}{24} = 0,0723 \text{ (€/kWh)}$$

$$II = \frac{4 \times 0,1092 + 10 \times 0,0833 + 6 \times 0,0535 + 4 \times 0,0497}{24} = 0,0746 \text{ (€/kWh)}$$

$$C_{e,j} = \frac{2 \times 0,0723 + 0,0746}{3} = 0,0731 \text{ (€/kWh)}$$

III. Cálculos do Contributo Energético

i) Cálculos de Coeficientes de Transmissão Térmica U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Para obter os valores de U de alguns elementos foi necessário calcular as resistências térmicas de cada camada j componente desses elementos:

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j}$$

em que e é a espessura de uma camada e λ a sua condutibilidade térmica, cujos valores estão fixados na publicação do LNEC, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envoltura dos Edifícios* (ITE 50)¹⁴.

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum_j R_j + R_{si}}$$

Quadro III. 1- Resistências térmicas.

Camada j	e	λ	R_j
Reboco 0,025	0,025	1,300	0,019
Reboco 0,010	0,010	1,300	0,008
Tijolo	0,200	0,340	0,588
Betão armado	0,200	2,000	0,100
E4	0,04	0,040	1,000
E6	0,06	0,040	1,500
X4	0,04	0,037	1,081
X6	0,06	0,037	1,622
M4	0,040	0,040	1,000
M6	0,060	0,040	1,500
Moleanos	0,020	3,500	0,006
Argamassa	0,010	1,300	0,008
Gesso cartonado	0,011	0,250	0,044
Espaço de ar	-	-	0,18
R_{se}	-	-	0,040
R_{si}	-	-	0,130

¹⁴ (Santos & Matias, 2006)

ii) Cálculos F1

SOLUÇÃO EXISTENTE F1

Quadro III. 2- Coeficientes de transmissão térmica da solução existente F1.

Elemento	U
PE1	$\frac{1}{0,04 + \frac{0,02}{3,5} + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,20}{0,34} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 1,26
PT1	$\frac{1}{0,04 + \frac{0,02}{3,5} + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 3,30

SOLUÇÕES PROPOSTAS F1

Quadro III. 3- Coeficientes de transmissão térmica das soluções propostas F1.

Elemento	U
PT1.M4	$\frac{1}{0,04 + \frac{0,02}{3,5} + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,04}{0,04} + 0,18 + \frac{0,011}{0,25} + 0,13} + 0,25$ 0,91
PT1.M6	$\frac{1}{0,04 + \frac{0,02}{3,5} + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,06}{0,04} + 0,18 + \frac{0,011}{0,25} + 0,13} + 0,25$ 0,74

Quadro III. 4-Perdas e custo energéticos por elemento construtivo de F1 após aplicação das soluções propostas.

Isolamento	A	U	Q	Ce (ηj=4)
Interior	(m2)	(W/m2.°C)	(kW.h)	(€)
PE1.M4	133,32	0,76	2893,79	52,88
PE1.M6	133,32	0,66	2513,03	45,93
PT1.M4	15,91	0,91	411,24	7,52
PT1.M6	15,91	0,74	337,81	6,17
V1.(1)	52,75	2,90	4368,97	79,84

iii) Cálculos F2

SOLUÇÃO EXISTENTE F2

Quadro III. 5- Coeficientes de transmissão térmica da solução existente F2.

Elemento	U
PE2	Quadro II.1, ITE 50 1,30
PT2	$\frac{1}{0,04 + \frac{0,025}{1,30} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 3,24

SOLUÇÕES PROPOSTAS F2

Quadro III. 6- Coeficientes de transmissão térmica das soluções propostas F2.

Elemento	U
PT2.E4	$\frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,04}{0,04} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 0,76
PT2.E6	$\frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,06}{0,04} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 0,55
PT2.VE4	$\frac{1}{0,13 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,04}{0,04} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 0,71
PT2.VE6	$\frac{1}{0,13 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,04}{0,04} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 0,52
PT2.VX4	$\frac{1}{0,13 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 0,67
PT2.VX6	$\frac{1}{0,13 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 0,49
PT2.VM4	$\frac{1}{0,13 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,04}{0,04} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 0,71
PT2.VM6	$\frac{1}{0,13 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,06}{0,04} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 0,52

Quadro III. 7- Perdas e custo energéticos de V2 após aplicação das soluções propostas.

Vãos Envidraçados	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	Q (kW.h)	Ce (η _j =4) (€)
V2.(1)	261,80	2,90	21683,32	396,26
V2.(2)	236,60	2,90	19596,16	358,12

Quadro III. 8- Perdas e custo energéticos por elemento construtivo de F2 após aplicação do ETICS.

ETICS	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	Q (kW.h)	Ce (η _j =4) (€)
PE2.E4	478,68	0,58	7929,22	144,91
PE2.E6	478,68	0,45	6151,98	112,43
PT2.E4	106,59	0,76	2312,96	42,27
PT2.E6	106,59	0,55	1676,19	30,63
PE após V2.(2)				
PE2.E4.(2)	503,88	0,58	8346,65	152,54
PE2.E6.(2)	503,88	0,45	6475,85	118,35

Quadro III. 9- Perdas e custo energéticos por elemento construtivo de F2 após aplicação de fachada ventilada.

VENTILADA	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	Q (kW.h)	Ce (η _j =4) (€)
EPS				
PE2.V.E4	478,68	0,63	8612,78	157,40
PE2.V.E6	478,68	0,51	6972,25	127,42
PT2.V.E4	106,59	0,71	2164,92	39,56
PT2.V.E6	106,59	0,52	1597,04	29,19
XPS				
PE2.V.X4	478,68	0,61	8339,35	152,40
PE2.V.X6	478,68	0,49	6698,83	122,42
PT2.V.X4	106,59	0,67	2046,89	37,41
PT2.V.X6	106,59	0,49	1501,26	27,44
MW				
PE2.V.M4	478,68	0,63	8612,78	157,40
PE2.V.M6	478,68	0,51	6972,25	127,42
PT2.V.M4	106,59	0,71	2164,92	39,56
PT2.V.M6	106,59	0,52	1597,04	29,19
PE após V2.(2)				
PE2.VE4(2)	503,88	0,63	9066,19	165,68
PE2.VE6(2)	503,88	0,51	7339,30	134,13
PE2.VX4(2)	503,88	0,61	8778,38	160,42
PE2.VX6(2)	503,88	0,49	7051,48	128,87
PE2.VM4(2)	503,88	0,63	9066,19	165,68
PE2.VM6(2)	503,88	0,51	7339,30	134,13

Soluções propostas F2 (discriminadas):

Quadro III. 10- Contributo energético das soluções propostas F2 (ETICS).

Soluções ETICS	Q-Q _j	Ce-Ce _j ($\eta_j=4$)	Redução
Total 2	66521,85	1215,69	
PE2.E4	9843,17	179,88	
PT2.E4	7556,05	138,09	
V2.(1)	17197,12	314,28	
F2.E4	34596,34	632,25	52%
PE2.E6	11620,41	212,36	
PT2.E6	8192,83	149,72	
V2.(1)	17197,12	314,28	
F2.E6	37010,36	676,36	56%
PE2.E4.(2)	9425,74	220,09	
PT2.E4	7556,05	176,43	
V2.(2)	19284,28	352,42	
F2.E4(2)	36266,07	662,76	55%
PE2.E6(2)	11296,54	263,77	
PT2.E6	8192,83	191,30	
V2.(2)	19284,28	352,42	
F2.E6(2)	38773,65	708,59	58%

Quadro III. 11- Contributo energético das soluções propostas F2 (f.ventilada).

Soluções Ventilada	Q-Q _j	Ce-Ce _j ($\eta_j=4$)	Redução
Total 2	66521,85	1215,69	
PE2.VE4	9159,62	167,39	
PT2.VE4	7704,09	140,79	
V2.(1)	17197,12	314,28	
F2.VE4	34060,83	622,46	51%
PE2.VE6	10800,15	197,37	
PT2.VE6	8271,97	151,17	
V2.(1)	17197,12	314,28	
F2.VE6	36269,23	662,82	55%
PE2.VX4	9433,04	172,39	
PT2.VX4	7822,12	142,95	
V2.(1)	17197,12	314,28	
F2.VX4	34452,28	629,62	52%
PE2.VX6	11073,57	202,37	
PT2.VX6	8367,76	152,92	
V2.(1)	17197,12	314,28	
F2.VX6	36638,44	669,57	55%
PE2.VM4	9159,62	167,39	
PT2.VM4	7704,09	140,79	
V2.(1)	17197,12	314,28	
F2.VM4	34060,83	622,46	51%
PE2.VM6	10800,15	197,37	
PT2.VM6	8271,97	151,17	
V2.(1)	17197,12	314,28	
F2.VM6	36269,23	662,82	55%

Quadro III. 12- Contributo energético das soluções propostas F2 (f.ventilada+alteração de vãos).

Soluções Ventilada(2)	Q-Q _j	Ce-Ce _j ($\eta_j=4$)	Redução
Total 2	66521,85	1553,29	
PE2.VE4(2)	8706,20	159,11	
PT2.VE4	7704,09	140,79	
V2.(2)	19284,28	352,42	
F2.VE4(2)	35694,57	652,32	54%
PE2.VE6(2)	10433,09	190,66	
PT2.VE6	8271,97	151,17	
V2.(2)	19284,28	352,42	
F2.VE6(2)	37989,35	694,26	57%
PE2.VX4(2)	8994,02	164,37	
PT2.VX4	7822,12	142,95	
V2.(2)	19284,28	352,42	
F2.VX4(2)	36100,42	659,74	54%
PE2.VX6.2)	10720,91	195,92	
PT2.VX6	8367,76	152,92	
V2.(2)	19284,28	352,42	
F2.VX6(2)	38372,95	701,27	58%
PE2.VM4(2)	8706,20	159,11	
PT2.VM4	7704,09	140,79	
V2.(2)	19284,28	352,42	
F2.VM4(2)	35694,57	652,32	54%
PE2.VM6(2)	10433,09	190,66	
PT2.VM6	8271,97	151,17	
V2.(2)	19284,28	352,42	
F2.VM6(2)	37989,35	694,26	57%

iv) Cálculos F3

SOLUÇÃO EXISTENTE F1

Quadro III. 13- Coeficientes de transmissão térmica da solução existente F3.

Elemento	U
PE3	Quadro II.1, ITE 50 1,30
PT3	$\frac{1}{0,04 + \frac{0,025}{1,30} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 3,24

SOLUÇÕES PROPOSTAS F3

Quadro III. 14- Coeficientes de transmissão térmica das soluções propostas F3.

Elemento	U
PT3.E4	$\frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,04}{0,04} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 0,76
PT3.E6	$\frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,06}{0,04} + \frac{0,025}{1,3} + \frac{0,20}{2,0} + \frac{0,025}{1,3} + 0,13}$ 0,55

Quadro III. 15- Perdas e custo energéticos por elemento construtivo de F3 após aplicação das soluções propostas.

ETICS	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	Q (kW.h)	Ce (η _f =4) (€)
PE3.E4	599,18	0,58	9925,33	181,39
PE3.E6	599,18	0,45	7700,69	140,73
PT3.E4	87,88	0,76	1906,96	34,85
PT3.E6	87,88	0,55	1381,96	25,26
V3.(1)	210,34	2,90	17421,20	318,37